

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**



**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA BIOMASA COMO
FUENTE DE ENERGÍA EN EL EJIDO ADOLFO RUIZ CORTINES,
PUEBLO NUEVO, DURANGO**

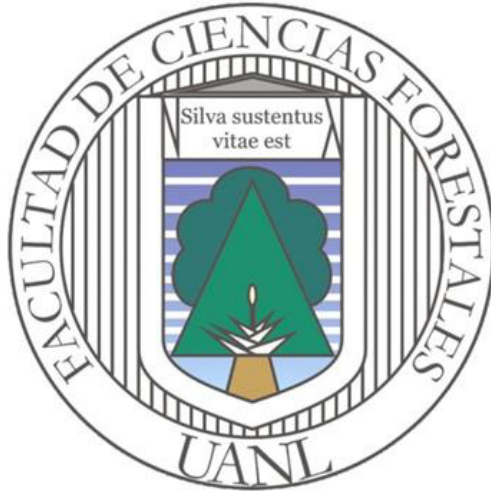
POR

PEDRO HILARIO FLORES SANTOS

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

NOVIEMBRE, 2017

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO**



TESIS

**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA BIOMASA COMO
FUENTE DE ENERGÍA EN EL EJIDO ADOLFO RUIZ CORTINES,
PUEBLO NUEVO, DURANGO**

POR

PEDRO HILARIO FLORES SANTOS

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES

LINARES, NUEVO LEÓN, MÉXICO.

NOVIEMBRE, 2017

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA BIOMASA
COMO FUENTE DE ENERGÍA EN EL EJIDO ADOLFO RUIZ
CORTINES, PUEBLO NUEVO, DURANGO.

Aprobación de tesis



Dr. Fortunato Garza Ocañas
Director



Dr. Humberto González Rodríguez
Codirector



Dr. Horacio Villalón Mendoza
Asesor



M.C. José De Jesús Graciano Luna
Asesor externo

Noviembre, 2017

DEDICATORIAS

A Dios y a la Virgen de Guadalupe por permitirme contar con vida y salud para poder realizar mi sueño.

A mi esposa Karla Irene Carrillo Rodríguez por el amor incondicional que siempre me ha demostrado así como la paciencia y el apoyo que siempre me ha brindado en todos los momentos difíciles de mi carrera profesional.

A mis hijos Leslie Daniela y Carlos Alexis Flores Carrillo por ser el mecanismo que me impulsa siempre y por ser lo que más amo en este mundo.

A mi padre el Sr. Juan Carlos Flores Medrano por ser una persona ejemplar y siempre darme lo mejor de sí mismo, por inculcarme valores que me caracterizan y por contar siempre con su apoyo incondicional.

A mi madre la Sra. María de Los Ángeles Santos Luna por todo el sacrificio que ha hecho por mí desde que nací, por ser la mejor mamá del mundo y siempre estar ahí cuando la he necesitado, también por su apoyo incondicional y la paciencia que me ha tenido a lo largo de toda mi carrera profesional.

A mis hermanos Karla Yesenia, Juan Manuel y Miguel Ángel Flores Santos por formar una parte muy importante en mi vida.

A mi abuelo Juan Manuel Flores Ortega por ser el ángel que siempre me cuida y que desde el cielo vela por mi bienestar.

Dios los bendiga, muchas gracias.

ATTE: ING. PEDRO HILARIO FLORES SANTOS.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT): por la beca que me otorgo para la realización de mis estudios de maestría.

A la Facultad de Ciencias Forestales de la UANL, por darme la oportunidad de realizar mis estudios de maestría.

Al Dr. Fortunato Garza Ocañas, por la amistad brindada y por ser una parte importante del desarrollo de mi investigación y por trasmitirme sus conocimientos y vivencias profesionales, además por dedicar parte importante de su valioso tiempo y siempre estar presente en el desarrollo de mi trabajo.

Al Dr. Horacio Villalón Mendoza, por formar parte importante en el cuerpo de asesores, así como por ser mi tutor académico y siempre estar al tanto de mí.

Al Dr. Humberto González Rodríguez, por formar parte del cuerpo de asesores y ayudar en la realización de esta investigación, así como por sus consejos y opiniones que me ayudaron a mejorar mi investigación.

Al M.C. José de Jesús Graciano Luna, por su gran disposición para formar parte del cuerpo de asesores, por la paciencia que tiene con todos y cada uno de sus alumnos y en lo particular por ser un gran amigo.

A todos y cada uno de los profesores de la Facultad de Ciencias Forestales, por brindarme su amistad y por transmitirme sus conocimientos, además por darme las herramientas necesarias para ser competente en el ámbito laboral.

A mis amigos y compañeros, Eduardo Díaz Cruz, Liliana Saucedo Reta, Sebastián Yerena Yamallel, Rubén Barrera Ramírez y Édgar Alán Flores Morales, por todos esos momentos agradables en los que convivimos juntos.

CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS.....	I
ÍNDICE DE GRAFICAS	II
ÍNDICE DE CUADROS	III
RESUMEN.....	V
ABSTRACT	VI
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES	2
2.1 Biomasa como fuente de energía	2
2.2 Bioenergía.....	2_Toc474957348
2.3 Residuos forestales	2
2.4 Los biocombustibles.....	3
2.5 Procesos de conversión de biomasa en energía	4
3. HIPÓTESIS	6
4. OBJETIVOS	6
4.1 General.....	6
4.2 Específicos.....	6
5. MATERIALES Y MÉTODOS	7
5.1 Descripción del área de estudio	7
5.2 Métodos.....	9
5.2.1 Diseño de muestreo	10
5.2.2 Colecta de información	10
5.2.3 Caracterización bioenergética de los residuos	10
5.2.4 Características químicas de la biomasa	10
5.2.4.1 Contenido de humedad	11
5.2.4.2 Contenido de compuestos volátiles	11
5.2.4.3 Contenido de cenizas.....	11
5.2.4.4 Contenido de carbón fijo.....	12
5.2.4.5 Poder calorífico	12

5.3	Análisis de los datos.....	13
6.	RESULTADOS.....	14
6.1	Biomasa	14
6.1.1	Biomasa total por superficie.....	16
6.1.2	Número de intersecciones a los 5 m en la categoría diamétrica de 0.1 - 0.5 cm.	17
6.1.3	Número de intersecciones a los 10 m en la categoría diamétrica de 0.5-2.5 cm.....	18
6.1.4	Número de intersecciones a los 15 m con categoría diamétrica de 2.5-7.5 cm.....	19
6.1.5	Diferencias significativas entre los tratamientos y componentes	20
6.1.6	Diferencias significativas en los tratamientos silvícolas para hojas por parcela.....	22
6.1.6.1	Primer aclareo	22
6.1.6.2	Segundo aclareo	23
6.1.6.3	Tercer aclareo	24
6.1.6.4	Corta de selección	25
6.1.1	Diferencias significativas en los tratamientos silvícolas para conos por parcela.....	26
6.1.1.1	Primer Aclareo.....	26
6.1.1.2	Segundo aclareo	27
6.1.1.3	Tercer aclareo	27
6.1.1.4	Corta de selección	28
6.1.1	Diferencias significativas en los tratamientos silvícolas para ramas por parcela.....	29
6.1.1.1	Primer aclareo	29
6.1.1.2	Segundo aclareo	30

6.1.1.3	Tercer aclareo	31
6.1.1.4	Corta de selección.....	32
6.1.2	Diferencias significativas entre parcelas para hojas en los tratamientos silvícolas	33
6.1.3	Diferencias significativas entre parcelas para conos en los tratamientos silvícolas.	35
6.1.4	Diferencias significativas entre parcelas para ramas en los tratamientos silvícolas	37
6.2	Análisis inmediatos.....	39
6.2.1	Contenido de humedad	39
6.2.2	Contenido de compuestos volátiles	41
6.2.3	Contenido de cenizas.....	43
6.2.4	Contenido de carbón fijo.....	45
6.2.5	Poder calorífico	47
7.	DISCUSIÓN	49
7.1	Análisis inmediatos.....	49
7.1.2	Contenido de humedad	49
7.1.3	Contenido de compuestos volátiles	49
7.1.4	Contenido de cenizas.....	49
7.1.5	Contenido de carbón fijo.....	50
7.1.6	Poder calorífico	50
8	CONCLUSIONES.....	51
9	BIBLIOGRAFÍA.....	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Croquis de ubicación del área de estudio	7
---	---

ÍNDICE DE GRAFICAS

Gráfica 1. Kilogramos de biomasa residual por hectárea aprovechable por tratamiento silvícola	15
Gráfica 2. Número de intersecciones a los 5 m en la categoría diamétrica de .1- 0.5 cm.....	17
Gráfica 3. Número de intersecciones a los 10 m en la categoría diamétrica de 0.5-2.5 cm.....	18
Gráfica 4. Número de intersecciones a los 15 m con categoría diamétrica de 2.5-7.5 cm.....	19
Gráfica 5. Medias respecto al tratamiento silvícola de hojas y ramas.....	21
Gráfica 6. Media entre parcelas y hojas.....	34
Gráfica 7. Medias entre parcelas y conos.....	36
Gráfica 8. Medias entre parcelas y ramas	38
Gráfica 9. Contenido de humedad en los tratamientos silvícolas.....	40
Gráfica 10. Contenido de volátiles en los tratamientos silvícolas.....	42
Gráfica 11. Contenido de cenizas en los tratamientos silvícolas.	44
Gráfica 12. Contenido de carbón fijo en los tratamientos silvícolas.	46
Gráfica 13. Potencial calorífico en los tratamientos silvícolas.....	48

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Toneladas de biomasa por superficie total.....	16
Cuadro 2. Diferencias significativas entre los tratamientos y componentes.	20
Cuadro 3 Diferencias significativas en el primer aclareo para hojas por parcela.	22
Cuadro 4 Diferencias significativas en el segundo aclareo para hojas por parcela.	23
Cuadro 5 Diferencias significativas en el tercer aclareo para hojas por parcela	24
Cuadro 6 Diferencias significativas en la corta de selección para hojas por parcela.	25
Cuadro 7 Diferencias significativas en el primer aclareo para conos por parcela.	26
Cuadro 8 Diferencias significativas en el segundo aclareo para conos por parcela.	27
Cuadro 9 Diferencias significativas en la corta de selección para conos por parcela.	28
Cuadro 10 Diferencias significativas en el primer aclareo para ramas por parcela.	29
Cuadro 11 Diferencias significativas en el segundo aclareo para ramas por parcela.	30
Cuadro 12 Diferencias significativas en el tercer aclareo para ramas por parcela.	31
Cuadro 13 Diferencias significativas en la corta de selección para ramas por parcela.	32
Cuadro 14. Diferencias significativas entre parcelas para hojas.....	33
Cuadro 15. Diferencias significativas entre parcelas para conos.....	35
Cuadro 16. Diferencias significativas entre parcelas para ramas en los tratamientos silvícolas.	37
Cuadro 17 Anova para tratamiento silvícola en C.H	39
Cuadro 18 Anova para componente (hojas, conos y ramas) en C.H	39
Cuadro 19 Anova para tratamiento silvícola en volátiles.....	41

Cuadro 20 Anova para componente (hojas, conos y ramas) en volátiles.	41
Cuadro 21 Anova para tratamiento silvícola en cenizas.....	43
Cuadro 22 Anova para componente (hojas, conos y ramas) en cenizas.	43
Cuadro 23 Anova para tratamiento silvícola en carbón fijo.....	45
Cuadro 24 Anova para componente (hojas, conos y ramas) carbón fijo.	45
Cuadro 25 Anova para tratamiento silvícola en potencial calorífico.	47
Cuadro 26 Anova para componente (hojas, conos y ramas) en potencial calorífico.....	47

RESUMEN

Con el fin de evaluar el potencial energético de la biomasa residual después de las actividades silvícolas (Podas, preacalreos, aclareos, aprovechamientos parciales y aprovechamientos totales) se colectaron muestras para después trasladarlas al laboratorio para determinar la cantidad de biomasa, se molieron y se determinó posteriormente el potencial calorífico como un mecanismo para incentivar la búsqueda de técnicas alternativas para un mejor aprovechamiento de los residuos y aumentar los rendimientos del proceso. Se tomaron en cuenta cuatro tratamientos silvícolas en los que se realizaron 4 transectos distribuidos en la parcela, como condición fue que mantuvieran todos los atributos de densidad, mezcla de especies, altura y diámetros dominantes.

Se realizó un análisis de varianza bajo un diseño completamente al azar, los valores medios de cada variable entre las especies y secciones se compararon con pruebas de Tukey con el fin de determinar si existen diferencias entre las variables evaluadas, encontrando diferencias estadísticas significativas mediante una comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$). Donde se encontró que para las variables de hojas en los 4 tratamientos estudiados si existen diferencias significativas con una media en el primer aclareo de 438.47 g. como valor máximo y una media de 97.34 g. en la corta de selección como valor mínimo. Para la variable de rama se comprobó que si existen diferencias significativas entre los tratamientos obteniendo así un valor máximo en el primer aclareo con 388.61 g. y un valor mínimo en el tercer aclareo con 143.31g. mientras que en conos no se encontraron diferencias entre los tratamientos.

ABSTRACT

In order to assess the energy potential of the residual biomass after forestry activities (pruning, pre thinning, thinning, partial resource use and total resource use). These resources were collected, milled and subsequently their calorific potential was determined. This as a way to encourage alternative techniques for better use of forest resource wastes and increase process yields. Four silvicultural treatments were investigated and four transects used and distributed in the plot, attributes such as density, mixed species, height and dominant diameters were considered.

An analysis of variance with a completely randomized design was used and the mean values for each variable between species and sections were compared using the Tukey test. The later was carried out in order to determine differences between the variables evaluated, results showed statistically significant differences ($p \leq 0.05$) Tukey. Results showed that leaves variable at the 4 treatments studied had significant differences with an average in the first thinning of 438.47 g. as maximum value and an average of 97.34 g. in the thinning selection as minimum value. For the variable of branch, results showed significant differences between the treatments thus obtaining a maximum value in the first thinning with 388.61 g. and a minimum value in the third thinning with 143.31g. The “cones” variable did not show differences among treatments.

1. INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de energía mundial y la incertidumbre sobre las reservas de combustibles fósiles ha propiciado el interés cada vez mayor en el desarrollo de fuentes alternativas de energía, que además ofrezcan beneficios ambientalmente sustentables (*Ghosh y Prelas, 2011*). El aprovechamiento de los residuos biológicos de distintas procedencias pueden ser una fuente importante de energía (*Jahrbuch, 2007; Martínez, 2009*).

Cabe destacar que el uso de combustibles fósiles son los causantes de serios problemas ambientales, como la contaminación del aire, lluvia ácida y las emisiones de gases invernadero. Una solución a estos problemas causados por el uso de combustibles fósil es el desarrollo de energías limpias y renovables de origen biomásico, ya que pueden ser producidas y consumidas en un ámbito de CO² neutro y la biomasa está disponible mundialmente (*Salvador 2010*).

La biomasa, como material originado en un proceso biológico, puede ser utilizada para producir energía. Los sistemas agrícolas y forestales son grandes productores de biomasa. Una parte de ésta es utilizada para procesos industriales (alimentarios o madereros), mientras que otra parte es considerada como residuo, el cual actualmente no es aprovechado para la generación de bioenergía (*Borja, 2006*).

En el ejido Adolfo Ruiz Cortines, del municipio de Pueblo Nuevo, Durango, se cuenta con uno de los mayores potenciales para el desarrollo forestal y en la actualidad evidencia procesos activos de extracción de madera, el objetivo de este trabajo es cuantificar y analizar el valor energético de la biomasa como fuente de energía como un mecanismo para incentivar la búsqueda de alternativas técnica y económicamente viables para un mejor aprovechamiento de los residuos y aumentar los rendimientos del proceso.

2. ANTECEDENTES

2.1 Biomasa como fuente de energía

Según *Jiménez (1991)*, El término biomasa comprende a las materias hidrocarbonadas, no fósiles en las que mediante el proceso básico de la fotosíntesis se ha producido la fijación de CO₂. Las plantas almacenan energía en forma de carbohidratos (azúcares), lignina y celulosa. Durante la fotosíntesis las plantas usan la luz solar para combinar dióxido de carbono del aire y agua del suelo para formar carbohidratos los cuales son la estructura base de la biomasa. La madera y corteza están formadas químicamente por polisacáridos y lignina, además de sustancias inorgánicas (*Fengel y Wegener, 1989*). Aun cuando las cantidades de los componentes varían entre especies, los componentes químicos mayoritarios son los carbohidratos y lignina y, en pequeñas cantidades los extractivos.

2.2 Bioenergía

La bioenergía hace referencia a productos de biomasa que se han convertido a forma líquida, sólida o gaseosa, según la materia prima básica y la tecnología empleada, para la generación de energía. La biomasa abarca una amplia variedad de materias vegetales, que van desde los desechos agrícolas, forestales y urbanos hasta los cultivos plantados específicamente para producir biocombustibles, como el bioetanol y el biodiesel (*IAASTD, 2009*)

2.3 Residuos forestales

Las fuentes más importantes de biomasa son los campos forestales y agrícolas pues en ellos se producen residuos que normalmente son dejados en el campo (*Camps y Martín, 2008*). La biomasa forestal se define como la materia orgánica que existe en un determinado ecosistema forestal, tanto por encima como por debajo del suelo. La biomasa forestal se puede clasificar en:

Natural: Es la que se produce en la naturaleza sin ninguna intervención humana, y que se puede aprovechar como fuente energética. Como por ejemplo los troncos, hojas, ramas, frutos, etc.

Residual seca: Son los residuos que se generan en las actividades forestales o en la industria maderera y que todavía pueden ser utilizados y considerados subproductos. Como ejemplo podemos considerar el aserrín, la cáscara de almendra, las podas de frutales, etc.

2.4 Los biocombustibles

De acuerdo con *Marcos (2001)*, biocombustible es aquel combustible de origen biológico que no se ha fosilizado. A diferencia de los denominados combustibles fósiles, los biocombustibles se consideran como una energía renovable. Los biocombustibles han sido utilizados desde siempre por el hombre como paja y leña para calentarse, calentar sus alimentos y obtener y transformar metales, cambiando a través del tiempo, las tecnologías de manejo y aprovechamiento. Actualmente, los biocombustibles son clasificados en función del origen de los mismos y/o según su estado físico en sólidos (leñas, astillas, pellets, carbón), líquidos (bioetanol, aceites) y gaseosos (biogás de origen muy diverso) (*Martín, 2001*).

La biomasa forestal destinada a la obtención de energía es utilizada en dos formas diferentes, leñas o astillas. El empleo de las leñas y astillas puede tener caminos diversos. Con el desarrollo industrial se ha retomado el óptimo aprovechamiento de los recursos lignocelulósicos. La necesidad de sustituir combustibles fósiles ha llevado a utilizar los residuos lignocelulósicos, ocupándolos directamente o procesándolos como material compactado en forma de pellets o briquetas. Estos elementos densificados presentan una serie de ventajas con respecto al material del que provienen, ya que su mayor densidad permite disminuir el coste de transporte y almacenamiento, además de ser productos más homogéneos en características y propiedades, más limpios, y mucho más fáciles de manejar. Los pellets de madera fueron inventados como

una reacción a la crisis energética a finales de los años 70's en los Estados Unidos como un combustible alternativo. El propósito principal de pellets de madera fue para ayudar a resolver la crisis energética, utilizados por los sectores industrial, comercial e institucional para la calefacción (*Alakangas, 2002; FAOSTAT, 2006*)

2.5 Procesos de conversión de biomasa en energía

Desde el punto de vista del aprovechamiento energético, la biomasa se caracteriza por tener un bajo contenido de carbono, un elevado contenido de oxígeno y compuestos volátiles. Estos compuestos volátiles formados por cadenas largas del tipo C_nH_m [un grupo de combustibles que está formado principalmente por carbono (C) e hidrógeno (H^2)], usualmente conocidos como hidrocarburos y denotados a través de la fórmula química C_nH_m , y presencia de CO^2 , CO y H^2 son los que concentran una gran parte del poder calorífico de la biomasa. Este poder calorífico de la biomasa depende mucho del tipo de biomasa considerada y de su humedad. Así, normalmente estos valores de poder calorífico de la biomasa se pueden dar en base seca o en base húmeda. En general, se puede considerar que el poder calorífico de la biomasa puede oscilar entre las 3,000 y 3,500 kilocalorías por kilogramo ($kcal\ kg^{-1}$) para los residuos lignocelulósicos; de 2,000 a 2,500 $kcal\ kg^{-1}$ para los residuos urbanos y 10,000 $kcal\ kg^{-1}$ para los combustibles líquidos provenientes de cultivos energéticos (*González et. al., 2013*).

Cabe destacar que, desde el punto de vista ambiental, el aprovechamiento energético de la biomasa no contribuye al aumento de los gases de efecto invernadero, dado que el balance de emisiones de CO^2 a la atmósfera es neutro. En efecto, el CO^2 generado en la combustión de la biomasa es reabsorbido mediante la fotosíntesis en el crecimiento de las plantas necesarias para su producción y, por lo tanto, no aumenta la cantidad de CO^2 presente en la atmósfera.

Al contrario, en el caso de los combustibles fósiles, el carbono que se libera a la atmósfera es el que está fijo a la tierra desde hace millones de años (Masera, 1995).

Existen diferentes métodos que transforman la biomasa en energía aprovechable. Los dos métodos más utilizados son los termoquímicos y los biológicos. Los métodos termoquímicos son aquellos que se basan en la utilización del calor como fuente de transformación de la biomasa. Están muy desarrollados para la biomasa seca, sobre todo para la paja y la madera.

Se utilizan los procesos de: a) Combustión: Es la oxidación de la biomasa por el oxígeno del aire; en esta reacción se libera agua y gas carbónico, y puede ser utilizado para la calefacción doméstica y para la producción de calor industrial. b) Pirólisis: Se trata de una combustión incompleta a alta temperatura (500 °C) de la biomasa en condiciones anaerobias. Se utiliza desde hace mucho tiempo para producir carbón vegetal. Este método libera también un gas pobre, mezcla de monóxido (CO) y dióxido de carbono (CO²), de hidrógeno (H²) y de hidrocarburos ligeros. Este gas, de poco poder calórico, puede servir para accionar motores diésel, para producir electricidad o para mover vehículos. Una variante de la pirólisis, es la pirólisis flash. Ésta se realiza a una temperatura mayor, alrededor de 1,000 °C, y tiene la ventaja de asegurar una gasificación casi total de la biomasa.

3. HIPÓTESIS

- El volumen y la calidad de los residuos forestales es similar en los diferentes tratamientos forestales y presentan una alta capacidad para producir energía.

4. OBJETIVOS

4.1 General

- Cuantificar y analizar el potencial energético de la biomasa residual de cuatro tratamientos silvícolas como fuente de energía en el Ejido Adolfo Ruiz Cortines, municipio de Pueblo Nuevo, Durango.

4.2 Específicos

- Determinar el volumen de la biomasa residual generada en los tratamientos forestales
- Determinar el potencial energético de la biomasa residual generada en los tratamientos forestales

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Descripción del área de estudio

Esta investigación se llevó a cabo en los límites del ejido Adolfo Ruíz Cortines, municipio de Pueblo Nuevo, Durango. Este se localiza en la región Suroeste del estado de Durango en la Sierra Madre Occidental y ocupa una superficie de 4223.86 ha. Geográficamente se localiza entre los 23° 41' y los 23° 45' de latitud Norte y entre los 105° 14' y los 105° 19' de longitud Oeste (Figura 1).

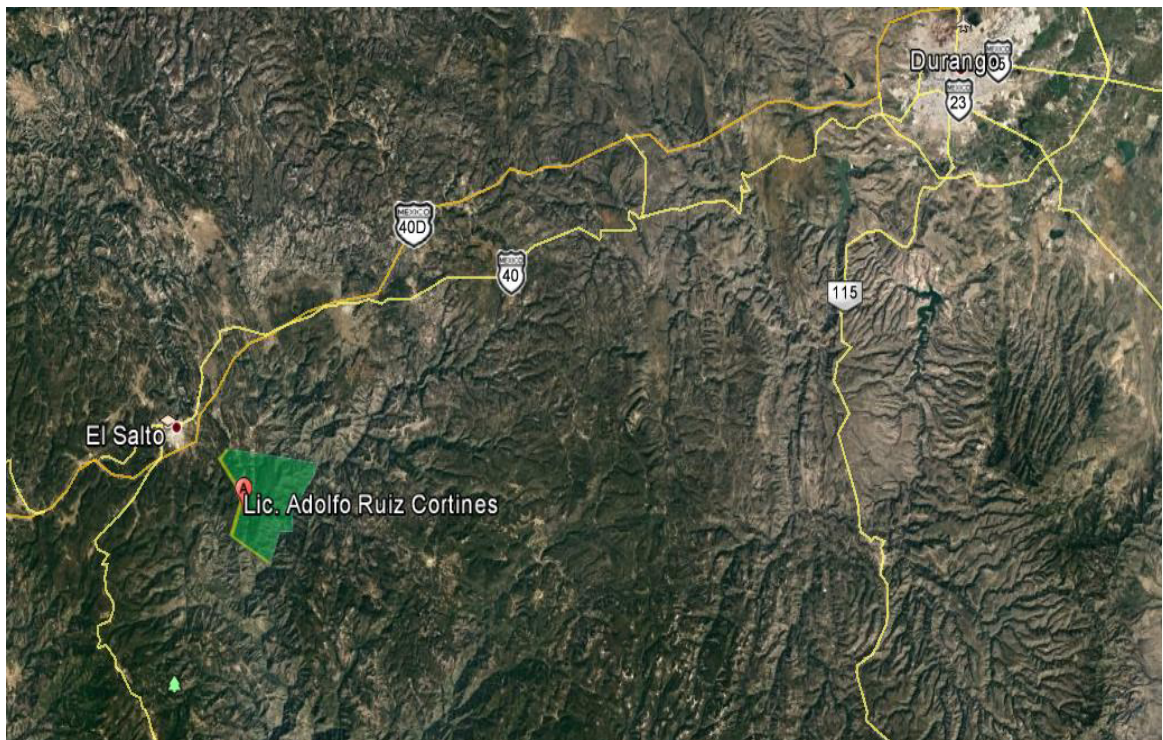


Figura 1 Croquis de ubicación del área de estudio

Fisiografía

El predio se ubica en la Provincia fisiográfica de la Sierra Madre Occidental, específicamente en la sub-provincia de Gran Meseta y Cañones Duranguenses y Mesetas Cañadas del Sur. La altura sobre el nivel del mar varía entre 2450 y 2650 m, con un promedio ponderado 2550 m.

Clima

El clima del área de estudio se clasifica como C(W2): Clima templado subhúmedo, con lluvias en verano con una media de precipitación invernal entre 5 y 10.2 mm.

C(E)(W2): Semifrío subhúmedo con lluvias en verano. Con una media de precipitación invernal entre 5 y 10.2 mm. (INEGI, 2004).

Edafología

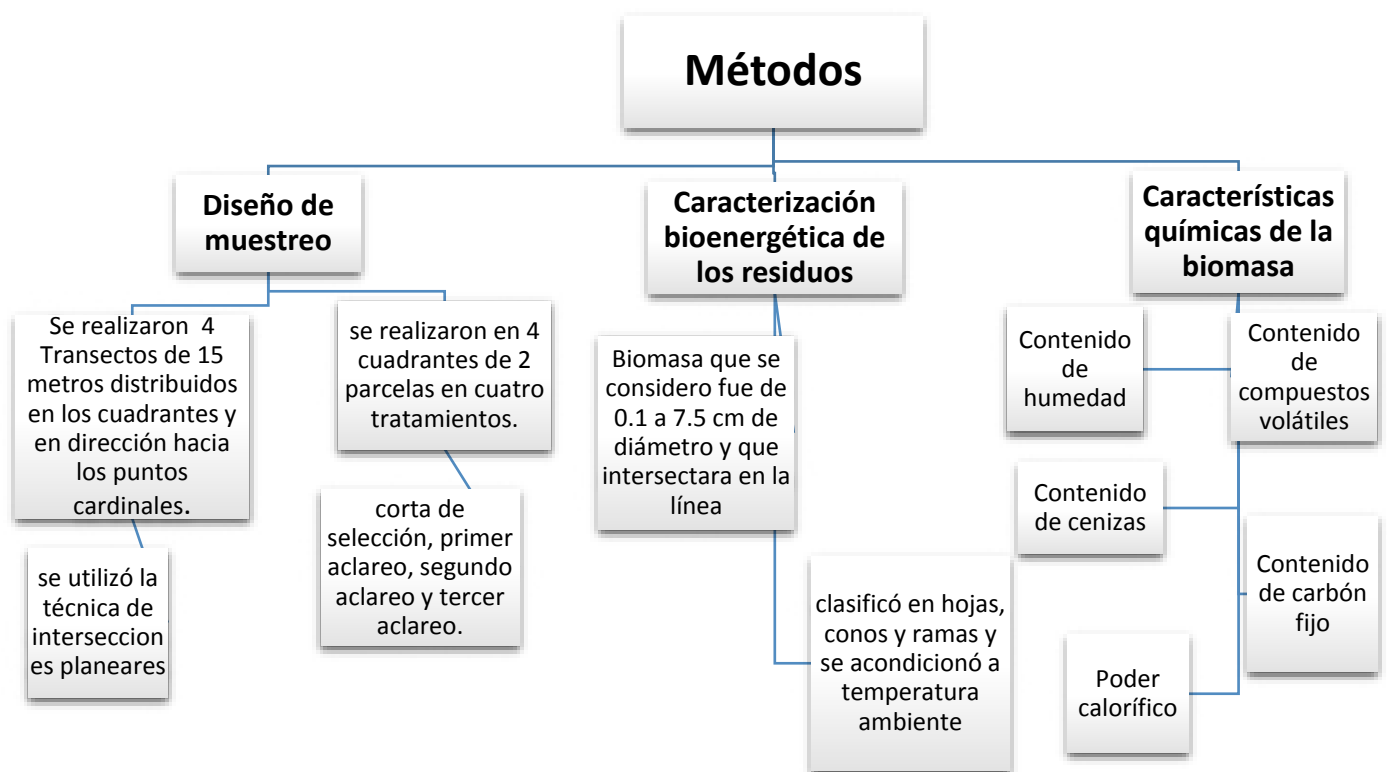
Los tipos de suelo en el área de estudio son Litosol y Regosol, esto de acuerdo con la información contenida en la carta edafológica escala 1:250,000 (INEGI, 2004).

Vegetación

Las comunidades vegetales más importantes del predio están compuestas por bosques mixtos de *Pinus* y *Quercus*, además de algunas especies arbustivas. Los tipos de vegetación más representativos son: Bosque de Pino (P), Bosque de Pino-Encino (Pq) y el Bosque de Encino-Pino, (Qp).

5.2 Métodos

Para la realización de esta investigación, se utilizaron transectos de 15 metros distribuidos en los cuadrantes y en dirección hacia los puntos cardinales. Los criterios para el establecimiento de los transectos fueron que mantuvieran los atributos de densidad, mezcla de especies, altura y diámetros dominantes que presenta el resto de la parcela. Las mediciones se realizaron en 4 cuadrantes de 2 parcelas en cuatro tratamientos (corta de selección, primer aclareo, segundo aclareo y tercer aclareo).



5.2.1 Diseño de muestreo

Se utilizó un muestreo sistemático en 4 tratamientos silvícolas y se realizaron 4 transectos de 15 metros en cada dirección (norte, sur, este y oeste) por tratamiento (i.e. 16 en total). Se establecieron parcelas circulares de 17.84 m. de diámetro para cubrir un décimo de hectárea.

5.2.2 Colecta de información

Los transectos utilizados medían 15 metros y se utilizó la técnica de intersecciones planeares, descrita por Wrown, (1971) y adaptada por Sánchez y Cerezero, (1983). El primer transecto se orientó en dirección norte y el resto de ellos se establecieron según las manecillas del reloj. La biomasa que se considero fue de 0.1 a 7.5 cm de diámetro y que intersectara en la línea. La biomasa que se colecto fue la encontrada en un cuadro de madera de 0.25 metros. El cuadro se distribuyó a lo largo de las líneas a los 0, 5, 10 y 15 metros.

5.2.3 Caracterización bioenergética de los residuos

El material colectado se clasificó en hojas, conos y ramas y se acondicionó a temperatura ambiente por cada uno de ellos.

5.2.4 Características químicas de la biomasa

Se determinó el contenido de la composición química de la biomasa obteniendo contenido de humedad (%), volátiles (%), cenizas (%) y carbón fijo (%) y poder calorífico de todos los tratamientos de acuerdo a la norma internacional ASTM. D 1762-84.

5.2.4.1 Contenido de humedad

Se colocaron crisoles en la mufla a 750°C durante 10 minutos. Se trasladaron los crisoles a un desecador en el que se dejó enfriar durante 5 minutos para obtener su peso inicial. El contenido de humedad se determinó al colocar 1.0 g de la muestra en cada crisol; después se colocaron los crisoles con la muestra en la estufa de secado a una temperatura de 105°C durante tres horas, posteriormente se dejan enfriar los crisoles para obtener el peso.

5.2.4.2 Contenido de compuestos volátiles

Los compuestos volátiles se obtuvieron colocando crisoles con 1.0 g de biomasa molida (hojas, conos y ramas) se colocaron en la mufla a una temperatura de 950°C durante 11 minutos. Se colocaron los crisoles durante 2 minutos sobre la tapa, 3 minutos en el borde de la entrada y 6 minutos al fondo de la mufla para evitar que los volátiles se desprendan espontáneamente.

5.2.4.3 Contenido de cenizas

Para determinar el contenido de cenizas, se colocaron crisoles 1.0 g de biomasa molida (hojas, conos y ramas) en la mufla a una temperatura de 750°C durante 7 horas continuas. Los crisoles se enfrían en un desecador para después pesarlos.

5.2.4.4 Contenido de carbón fijo

El contenido de carbón fijo se determinó por diferencia en porcentaje del contenido de humedad, contenido de cenizas y contenido de material volátil, mediante la siguiente fórmula:

$$CF=100-(CH+MV+CC)$$

Donde:

CH= Contenido de humedad (%)

MV= Material volátil (%)

CC= Contenido de cenizas (%)

5.2.4.5 Poder calorífico

El poder calorífico de los 3 tipos de material al aplicar la fórmula descrita por *Cordero et al., (2001)*.

$$HHV= 354.3 (FC) + 170.8 (VM)$$

Donde:

HHV= Poder calorífico (KJ/kg)

FC= Carbón fijo

VM = Contenido de volátiles (%)

5.3 Análisis de los datos

Con el fin de determinar si existen diferencias entre las variables evaluadas, se realizó un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias múltiples mediante el método de Tukey. Se colectaron y pesaron los combustibles en cuatro transectos por parcela donde se promediaron los datos para obtener la cantidad de combustibles por metro cuadrado y estos se extrapolaron a una hectárea. Se colectó una muestra de un metro cuadrado de biomasa por parcela y luego se trasladó al laboratorio para determinar la cantidad de biomasa a través del secado de las muestras para después molerlas y determinar el potencial calorífico para esto los datos que se obtuvieron en porcentaje se transformaron con la raíz cuadrada del arcoseno de x (*Castillo, 2003*) para poder realizar un análisis de varianza.

6. RESULTADOS

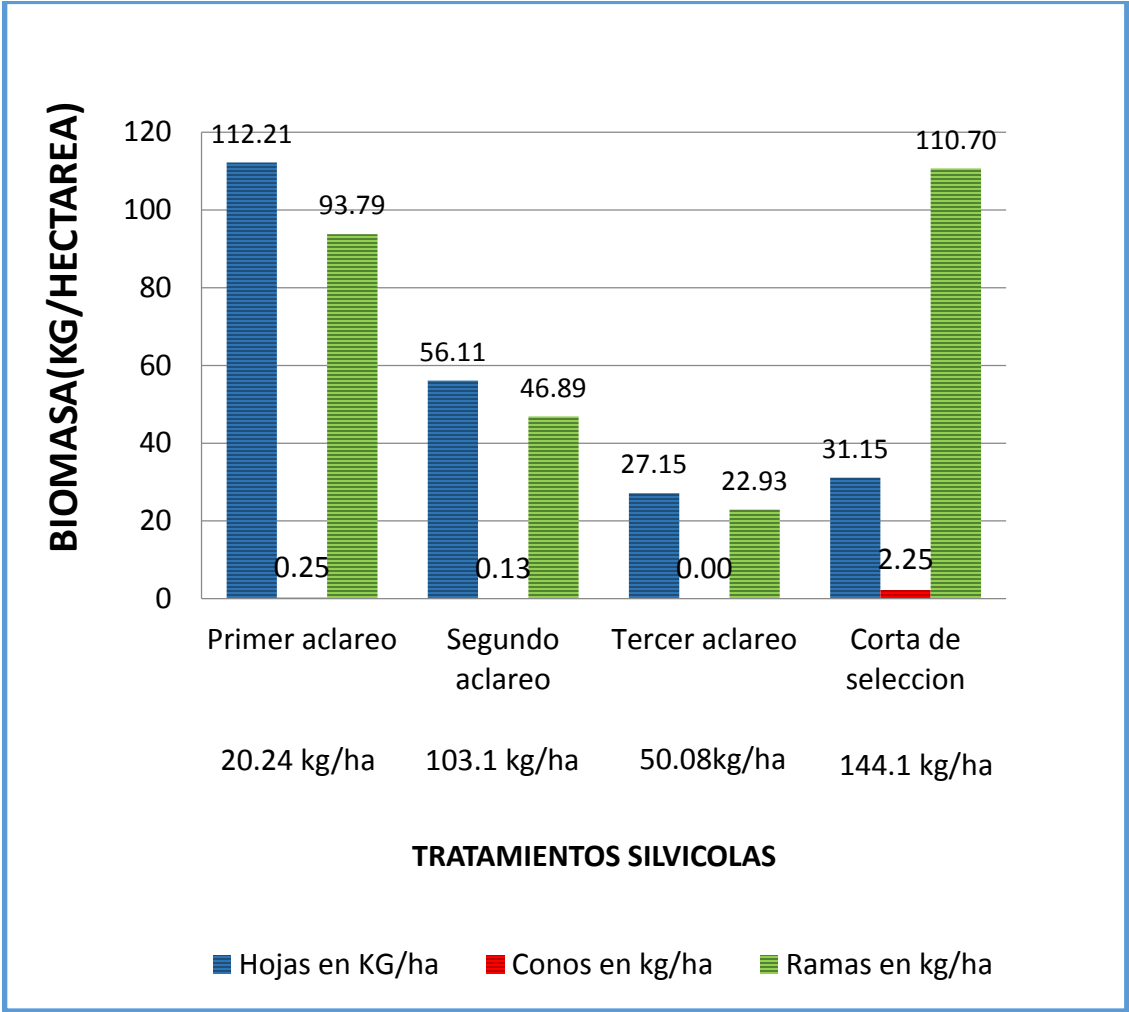
6.1 Biomasa

Para obtener la cantidad de biomasa residual aprovechable por tratamiento silvícola se obtuvo un promedio entre las dos parcelas de cada tratamiento silvícola (Primer aclareo, Segundo aclareo, Tercer aclareo y Corta de selección) entre hojas, conos y ramas obteniendo como resultado el total de material disponible en las parcela de cada tratamiento para después extrapolar la información obtenida a Kg/ha. .

Los resultados que se obtuvieron fue que en el primer aclareo la acumulación de biomasa es mayor aportando una cantidad de biomasa de 206.24 Kg/ha, siendo las hojas el material más abundante con 112.21 Kg/ha, seguido por ramas 93.79 y al final con conos con .25 Kg/ha sugiriendo que existe competencia natural entre los individuos provocando podas naturales por la alta densidad de los rodales.

En el tercer aclareo la biomasa disponible para fines energéticos fue muy baja a comparación del resto de los tratamientos aportando 50.08 kg/ha en total de los cuales 27.15 Kg/ha pertenecen a hojas, 22.93 Kg/ha a ramas, no encontrando conos determinando que es el tratamiento menos favorable para la obtención de biomasa.

Gráfica 1. Kilogramos de biomasa residual por hectárea aprovechable por tratamiento silvícola



6.1.1 Biomasa total por superficie.

Como se muestra en el cuadro de abajo la sumatoria de todos los aclareos silvícolas fue de 389.42 kg/ha obteniendo así un total de 215.28 Ton/ha mientras que en la corta de selección se obtuvo 99.94 Ton/ha dado un gran total de 315.22 Ton/ha de biomasa aprovechable.

Cuadro 1. Toneladas de biomasa por superficie total.

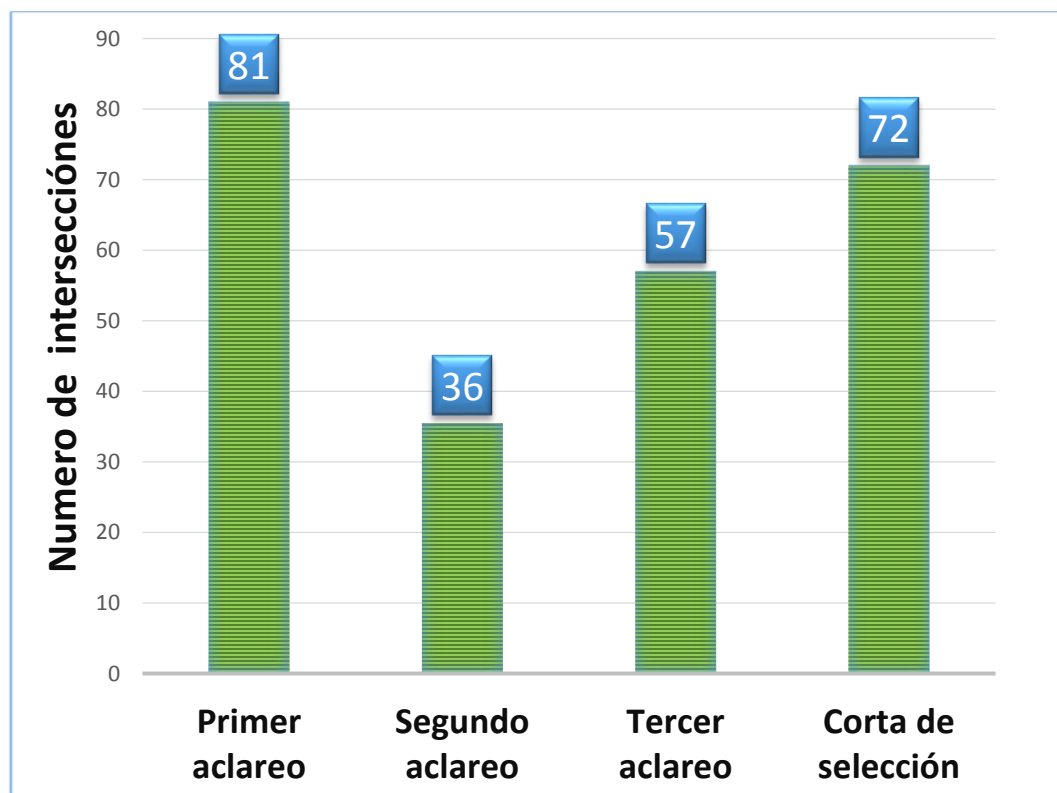
TRATAMIENTO	KG/HA	SUPERFICIE TOTAL (HA)	TON/HA
Primer aclareo	206.24		
Segundo aclareo	103.1	598.96	215.28
Tercer aclareo	50.08		
Total	359.42		
Corta de selección	144.1	693.57	99.94
Total	144.1		315.22

6.1.2 Número de intersecciones a los 5 m en la categoría diamétrica de 0.1 - 0.5 cm.

Para comprender como se encuentra conformado el suelo forestal en cuanto a biomasa se realizó un conteo del número de veces que el transecto fuera interceptado por ramas y conos en diferentes categorías diamétricas y en diferentes distancias que más adelante se describirán.

En la gráfica 2 se observa el número de intersecciones que se encontró en la categoría diamétrica de 0.1 - 0.5 cm a una distancia de 5 m. encontrando mayor número de intersecciones en el Primer aclareo con un total de 81 veces, seguido por la Corta de selección con 72 intersecciones, después el Tercer aclareo con 57 intersecciones y por último el Segundo aclareo con solo 36 intersecciones. Indicando que la biomasa dentro de la categoría diamétrica de 0.1 - 0.5 cm es más abundante en condiciones de sitios jóvenes.

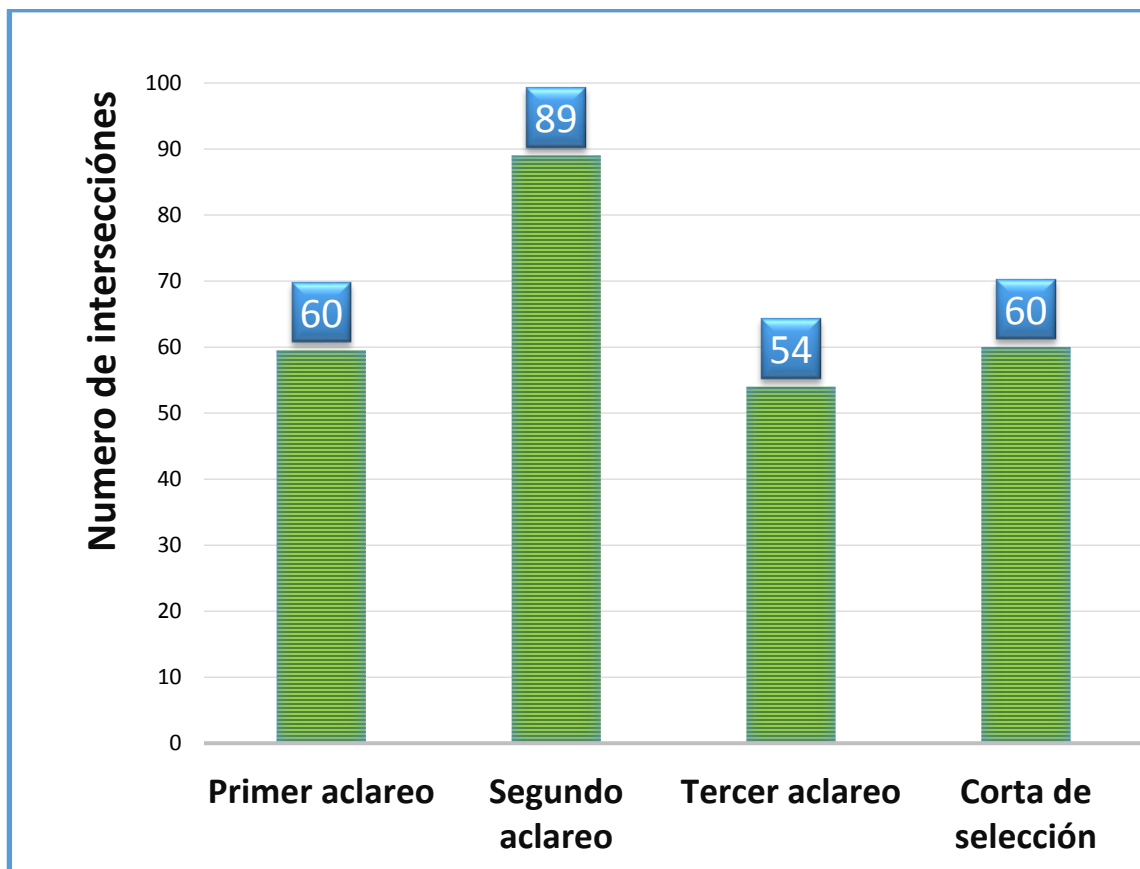
Gráfica 2. Número de intersecciones a los 5 m en la categoría diamétrica de .1- 0.5 cm.



6.1.3 Número de intersecciones a los 10 m en la categoría diamétrica de 0.5-2.5 cm.

En la Gráfica 3 se aprecia el número de veces que la línea es intersectada en una distancia de 10 m evaluando la categoría diamétrica de 0.5-2.5 cm. obteniendo como resultado un mayor número de intersecciones en el segundo aclareo obteniendo un total de 89 intersecciones seguida por el Primer aclareo con 60, después el Tercer aclareo con 54 al igual que en la Corta de selección y por último el Tercer aclareo con 54 intersecciones demostrando que se han realizado labores silvícolas en los rodales como podas, pre aclareos, aclareos, entresaques parciales etc.

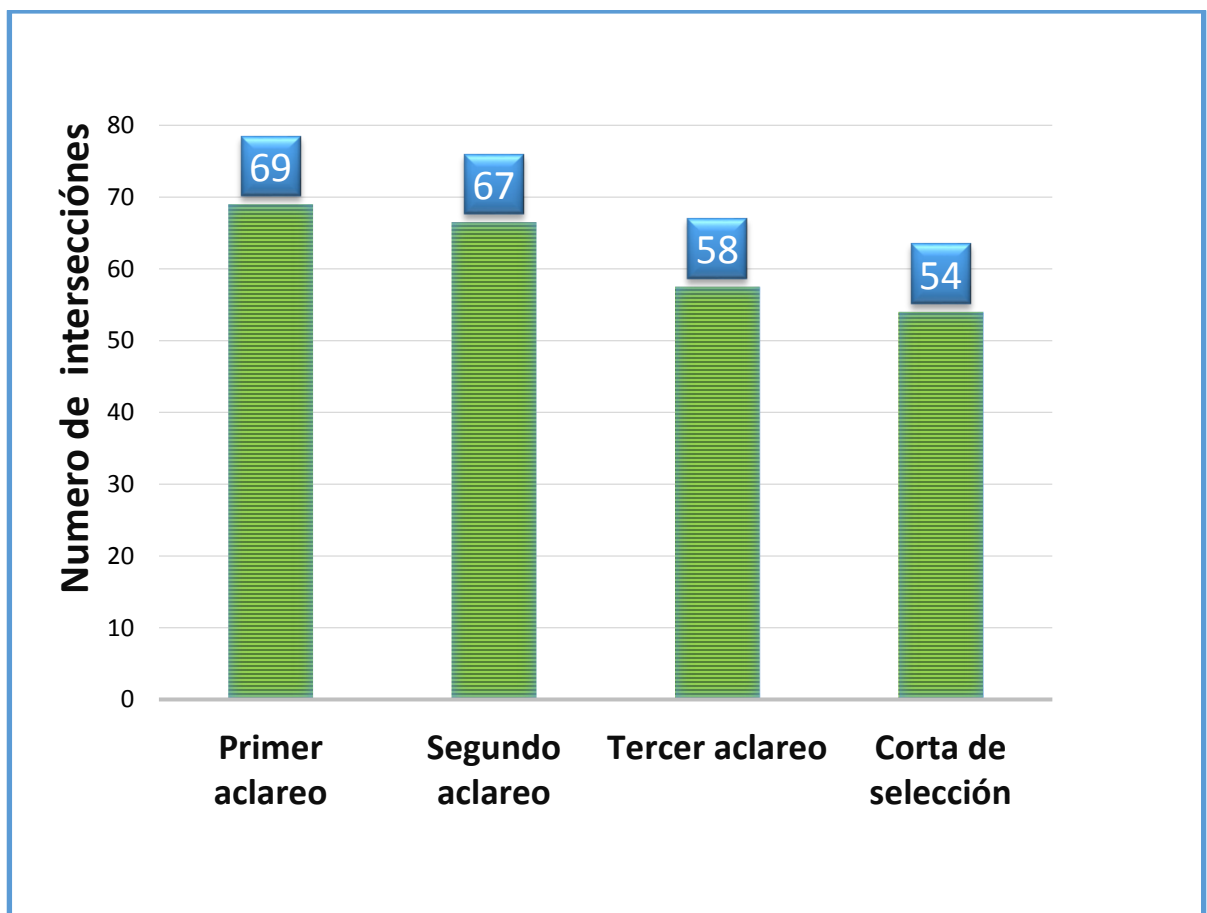
Gráfica 3. Número de intersecciones a los 10 m en la categoría diamétrica de 0.5-2.5 cm.



6.1.4 Número de intersecciones a los 15 m con categoría diamétrica de 2.5-7.5 cm.

En la Gráfica 4 Se muestra el número de intersecciones a 15 m de distancia evaluando la categoría diamétrica de 2.5-7.5 cm. Obteniendo el valor más alto en el Primer aclareo consiguiendo un total de 69 intersecciones, seguido por el Segundo aclareo con 67, después el Tercer aclareo con 58 veces y por último la Corta de selección con un total de 54 intersecciones obteniendo valores similares en todos los tratamientos silvícolas demostrando que la biomasa encontrada en esta categoría diamétrica es generada casi exclusivamente por efecto del aprovechamiento forestal.

Gráfica 4. Número de intersecciones a los 15 m con categoría diamétrica de 2.5-7.5 cm.



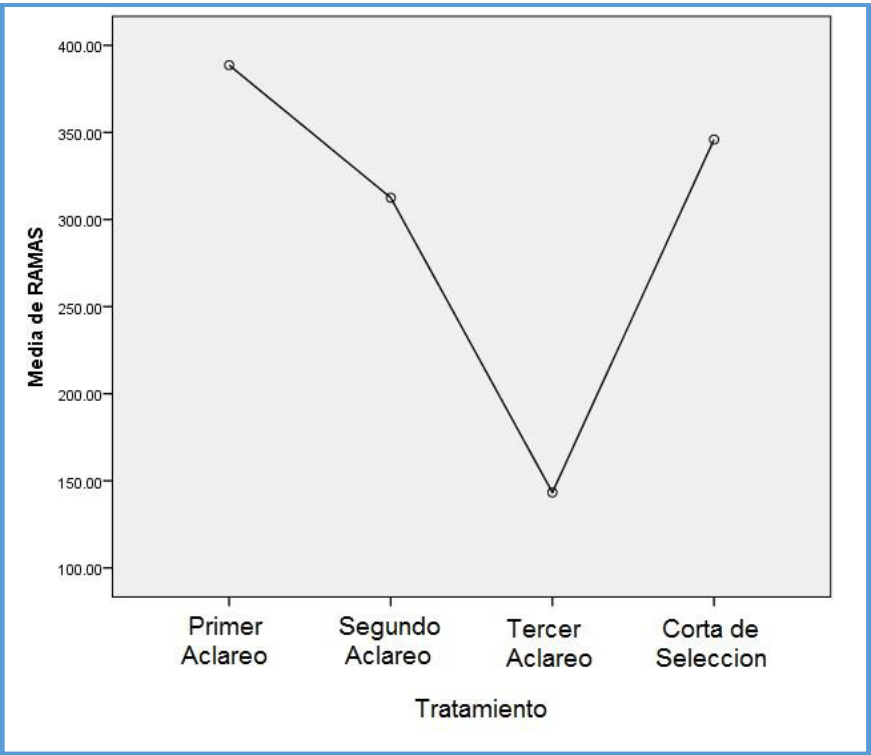
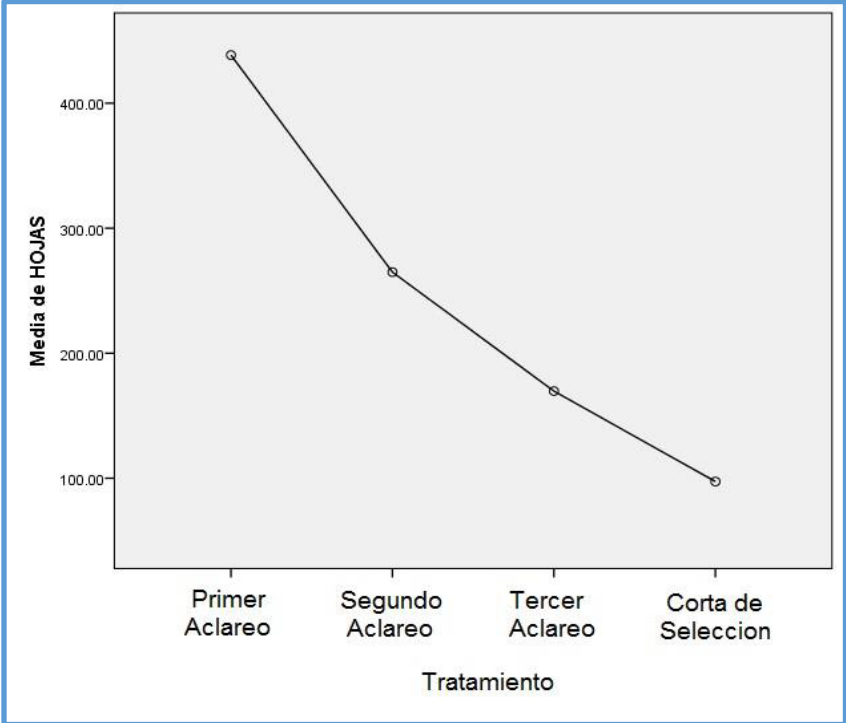
6.1.5 Diferencias significativas entre los tratamientos y componentes

En la variable conos se obtuvo un valor de significancia de .3794 que muestra que no existen diferencias significativas en todos los tratamientos silvícolas, Para las variables de hojas en los 4 tratamientos estudiados se determinó que si existen diferencias significativas con una media en el primer aclareo de 438.47 g. como valor máximo y una media de 97.34 g. en la corta de selección como valor mínimo. Para la variable de rama se determinó que si existen diferencias significativas obteniendo un nivel de significancia de .0001 entre los tratamientos obteniendo así un valor máximo en el primer aclareo con 388.61 g. y un valor mínimo en el tercer aclareo con 143.31g.

Cuadro 2. Diferencias significativas entre los tratamientos y componentes.

Variables	Primer aclareo	Segundo aclareo	Tercer aclareo	Corta de selección	Nivel de significancia (.05)
Hojas	438.47	264.84	169.69	97.34	0.0001
Conos	0.78	8.91	0	7.03	0.3794
Ramas	388.61	312.5	143.31	345.94	0.0001

Gráfica 5. Medias respecto al tratamiento silvícola de hojas y ramas



6.1.6 Diferencias significativas en los tratamientos silvícolas para hojas por parcela.

6.1.6.1 Primer aclareo

Se realizó el análisis de varianza en el primer aclareo para el componente de hojas encontrando que no existen diferencias significativas ya que se encontró un valor de significancia de .131, encontrando a su vez un coeficiente de variación de 72.48 %, presentando una mejor correlación con el componente de conos.

Cuadro 3 Diferencias significativas en el primer aclareo para hojas por parcela.

ANOVA

Hojas	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	243427.531	1	243427.531	2.410	.131
Dentro de grupos	3029648.438	30	100988.281		
Total	3273075.969	31			

Variable	CV
Hojas en gramos	72.48

Correlaciones	Hojas	Conos	Ramas
Hojas	1.00	0.45	0.0002

6.1.6.2 Segundo aclareo

En el segundo aclareo se encontró para el componente de hojas se encontró un valor de p mayor a .05 obteniendo un nivel de significancia de .381 indicando que no existe diferencias estadísticas en este tratamiento para el componente de hojas, encontrando también un coeficiente de variación del 91.28%, mientras que el componente de hojas muestra una correlación similar con hojas y ramas obteniendo un valor bajo de .30

Cuadro 4 Diferencias significativas en el segundo aclareo para hojas por parcela.

ANOVA

Hojas	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	46132.031	1	46132.031	.789	.381
Dentro de grupos	1753192.188	30	58439.740		
Total	1799324.219	31			

Variable	CV
Hojas en gramos	91.28

Correlaciones	Hojas	Conos	Ramas
Hojas	1.00	0.30	0.299

6.1.6.3 Tercer aclareo

Dentro del tercer aclareo para el componente de hojas se realizó en análisis de varianza para determinar si existen diferencias significativas encontrando un valor de significancia mayor a .05 determinando que no existen diferencias estadísticas ya que se encontró un valor de .410 con un coeficiente de variación de 43.67, respecto a la relación que se tiene entre los demás componentes se obtuvo que para el componente de ramas la correlación es buena obteniendo un valor del 0.55

Cuadro 5 Diferencias significativas en el tercer aclareo para hojas por parcela

ANOVA

Hojas	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	3828.125	1	3828.125	.697	.410
Dentro de grupos	164718.750	30	5490.625		
Total	168546.875	31			

Variable	CV
Hojas en gramos	43.67

Correlaciones	Hojas	Conos	Ramas
Hojas	1.00	0.00	0.55

6.1.6.4 Corta de selección

Se realizó en análisis estadístico para la corta de selección con el componente de hojas encontrando que no existe diferencia significativa obteniendo un valor de p de .203 y un coeficiente de variación igual a 48.14 mientras que la mejor correlación se obtuvo para el componente de conos aportando un valor de 0.79

Cuadro 6 Diferencias significativas en la corta de selección para hojas por parcela.

ANOVA

Hojas	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	3719.531	1	3719.531	1.694	.203
Dentro de grupos	65879.688	30	2195.990		
Total	69599.219	31			

Variable	CV
Hojas en gramos	48.14

Correlaciones	Hojas	Conos	Ramas
Hojas	1	0.79	0.57

6.1.1 Diferencias significativas en los tratamientos silvícolas para conos por parcela.

6.1.1.1 Primer Aclareo

Se realizó el análisis de varianza para el primer aclareo para el componente de hojas donde se obtuvo que no existe diferencia significativa en el tratamiento obteniendo un nivel de significancia de .325 con un coeficiente de variación muy alto de 105.74 ya que se encontró en el área componentes muy aislados obteniendo correlaciones bajas entre sus componentes.

Cuadro 7 Diferencias significativas en el primer aclareo para conos por parcela.

ANOVA

Conos	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	19.531	1	19.531	1.000	.325
Dentro de grupos	585.938	30	19.531		
Total	605.469	31			

Variable	CV
Hojas en gramos	105.74

Correlaciones	Hojas	Conos	Ramas
Conos	0.14	1.00	0.29

6.1.1.2 Segundo aclareo

Para el segundo aclareo con el componente de conos se realizó el análisis de varianza para determinar si existen diferencias estadísticas en las parcelas evaluadas determinando que no existen diferencias estadísticas ya que se encontró un valor de significancia de .573 encontrando la mejor correlación con el componente de ramas indicando un valor alto de 0.85

Cuadro 8 Diferencias significativas en el segundo aclareo para conos por parcela.

ANOVA

Conos	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	282.031	1	282.031	.325	.573
Dentro de grupos	26054.688	30	868.490		
Total	26336.719	31			

Variable	CV
Hojas en gramos	330.89

Correlaciones	Hojas	Conos	Ramas
Conos	0.19	1.00	0.85

6.1.1.3 Tercer aclareo

En el tercer aclareo no se realizó análisis de varianza por que no se encontró datos suficientes para el análisis de dicha área.

6.1.1.4 Corta de selección

Para la corta de selección no se obtuvieron diferencias significativas ya que se encontró un valor de significancia de .325 indicando que no existen diferencia entre las parcelas de éste tratamiento obteniendo también un coeficiente de variación muy alto, con un valor de 689.43 por el aislamiento de entre este componente en las parcelas estudiadas. Obteniendo una mejor correlación con el componente ramas obteniendo un valor de 0.68.

Cuadro 9 Diferencias significativas en la corta de selección para conos por parcela.

ANOVA

Conos	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1582.031	1	1582.031	1.000	.325
Dentro de grupos	47460.938	30	1582.031		
Total	49042.969	31			

Variable	CV
Hojas en gramos	689.43

Correlaciones	Hojas	Conos	Ramas
Conos	0.05	1	0.68

6.1.1 Diferencias significativas en los tratamientos silvícolas para ramas por parcela.

6.1.1.1 Primer aclareo

Se realizó el análisis de varianza para el componente de ramas en las parcelas de cada tratamiento obteniendo en el primer aclareo un nivel de significancia de .392 determinando que no existen diferencias estadísticas entre las parcela, también se encontró un valor de 79.50 en el coeficiente de variación (CV) para ramas, mientras que la relación que existe entre ramas con hojas, indica que existe una buena correlación mientras que en conos es muy baja obteniendo el valor mínimo de 0.19.

Cuadro 10 Diferencias significativas en el primer aclareo para ramas por parcela.

ANOVA

Ramas	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	67161.125	1	67161.125	.754	.392
Dentro de grupos	2673256.875	30	89108.563		
Total	2740418.000	31			

Variable	CV
Hojas en gramos	79.5

Correlaciones	Hojas	Conos	Ramas
Ramas	0.61	0.19	1.00

6.1.1.2 Segundo aclareo

Se determinó que no existen diferencias significativas para el componente de hojas en el segundo aclareo obteniendo un valor de significancia igual a .846 y un valor de 78.02% en el coeficiente de variación (CV) mostrando también que la correlación entre sus componentes es muy baja.

Cuadro 11 Diferencias significativas en el segundo aclareo para ramas por parcela.

ANOVA

Ramas	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	2278.125	1	2278.125	.038	.846
Dentro de grupos	1783471.875	30	59449.063		
Total	1785750.000	31			

Variable	CV
Hojas en gramos	78.02

Correlaciones	Hojas	Conos	Ramas
Ramas	0.19	0.04	1.00

6.1.1.3 Tercer aclareo

Se determinó que en el tercer aclareo para el componente de ramas si existe diferencia estadística entre las parcelas estudiadas ya que se encontró un valor significativo menor a .05 obteniendo así un valor de .001 y un coeficiente de variación (CV) del 41.02%.

Cuadro 12 Diferencias significativas en el tercer aclareo para ramas por parcela.

ANOVA

Ramas	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	126756.125	1	126756.125	36.681	.0001
Dentro de grupos	103668.750	30	3455.625		
Total	230424.875	31			

Variable	CV
Hojas en gramos	41.02

Correlaciones	Hojas	Conos	Ramas
Ramas	0.11	0.00	1.00

6.1.1.4 Corta de selección

En la corta de selección para el componente de ramas se obtuvo un nivel de significancia mayor a .05 indicando que no existen diferencias significativas entre las parcelas de este tratamiento obteniendo un valor de .421 y un coeficiente de variación (CV) del 48.9% y una correlación muy baja con el resto de los componentes.

Cuadro 13 Diferencias significativas en la corta de selección para ramas por parcela.

ANOVA

Ramas	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	19012.500	1	19012.500	.664	.421
Dentro de grupos	858659.375	30	28621.979		
Total	877671.875	31			

Variable	CV
Hojas en gramos	48.9

Correlaciones	Hojas	Conos	Ramas
Ramas	0.11	0.08	1

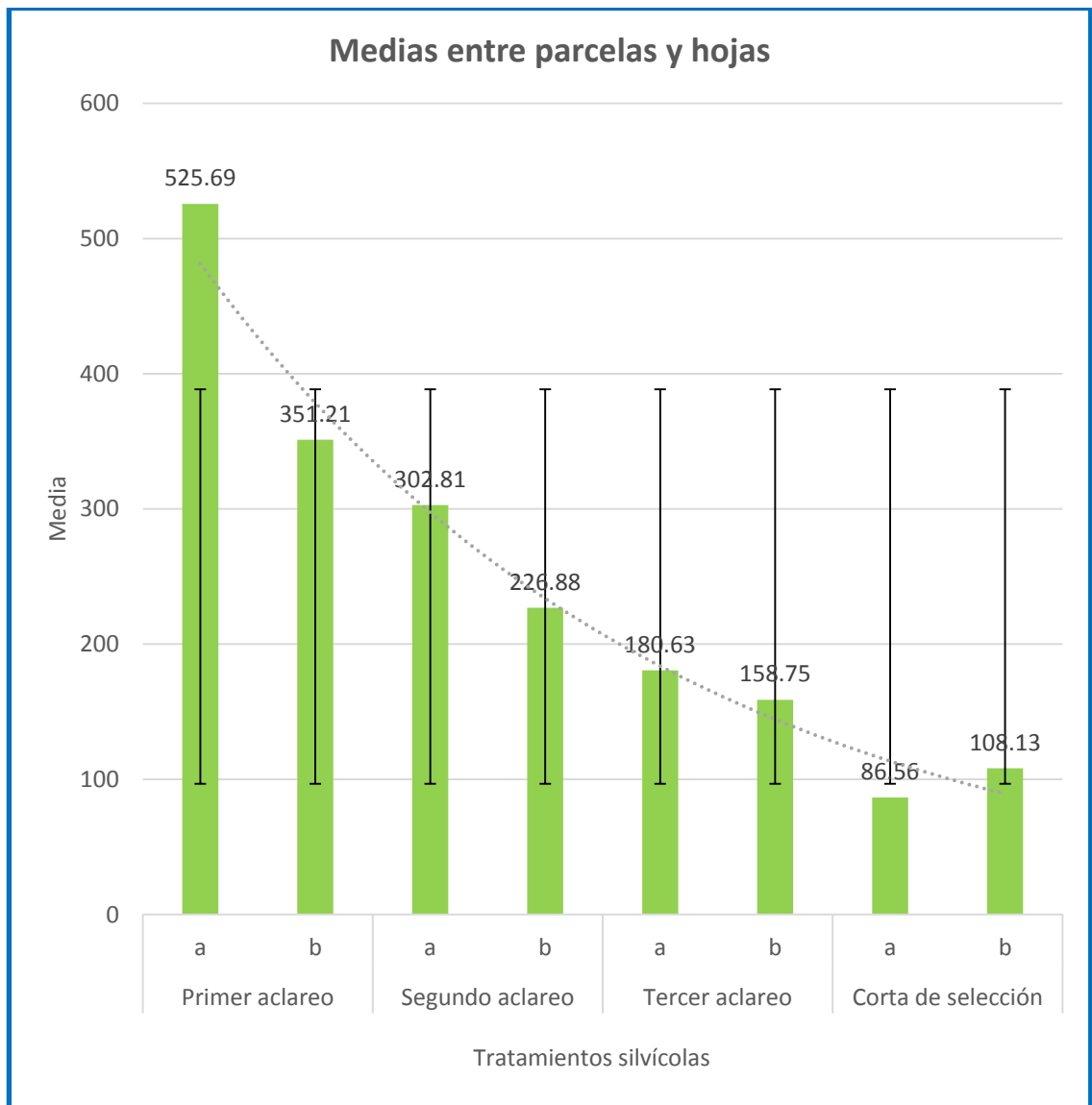
6.1.2 Diferencias significativas entre parcelas para hojas en los tratamientos silvícolas

En los resultados que se obtuvieron dentro del análisis de varianza se encontró que en la variable de hojas si existen diferencias significativas entre las parcelas de cada Tratamiento encontrando un valor máximo en la parcela “a” en el primer aclareo con 525.69 g. y un valor mínimo 86.56 g. en la parcela “a” de la corta de selección.

Cuadro 14. Diferencias significativas entre parcelas para hojas.

Variables	Parcelas	Medias	Nivel de significancia (.05)
Primer aclareo	a	525.69	0.0001
	b	351.21	
Segundo aclareo	a	302.81	
	b	226.88	
Tercer aclareo	a	180.63	
	b	158.75	
Corta de selección	a	86.56	
	b	108.13	

En la gráfica de abajo se muestra la tendencia que existe de disminución de biomasa conforme se avanza en los tratamientos silvícolas, dejando claro que en los primeros tratamientos silvícolas son los mejores para el aprovechamiento de la misma. Obteniendo los valores más altos en el primer aclareo obteniendo una media de 525.69 en la parcela “a” y el valor mínimo en la corta de selección con un media de 86.56 g.



Gráfica 6. Media entre parcelas y hojas.

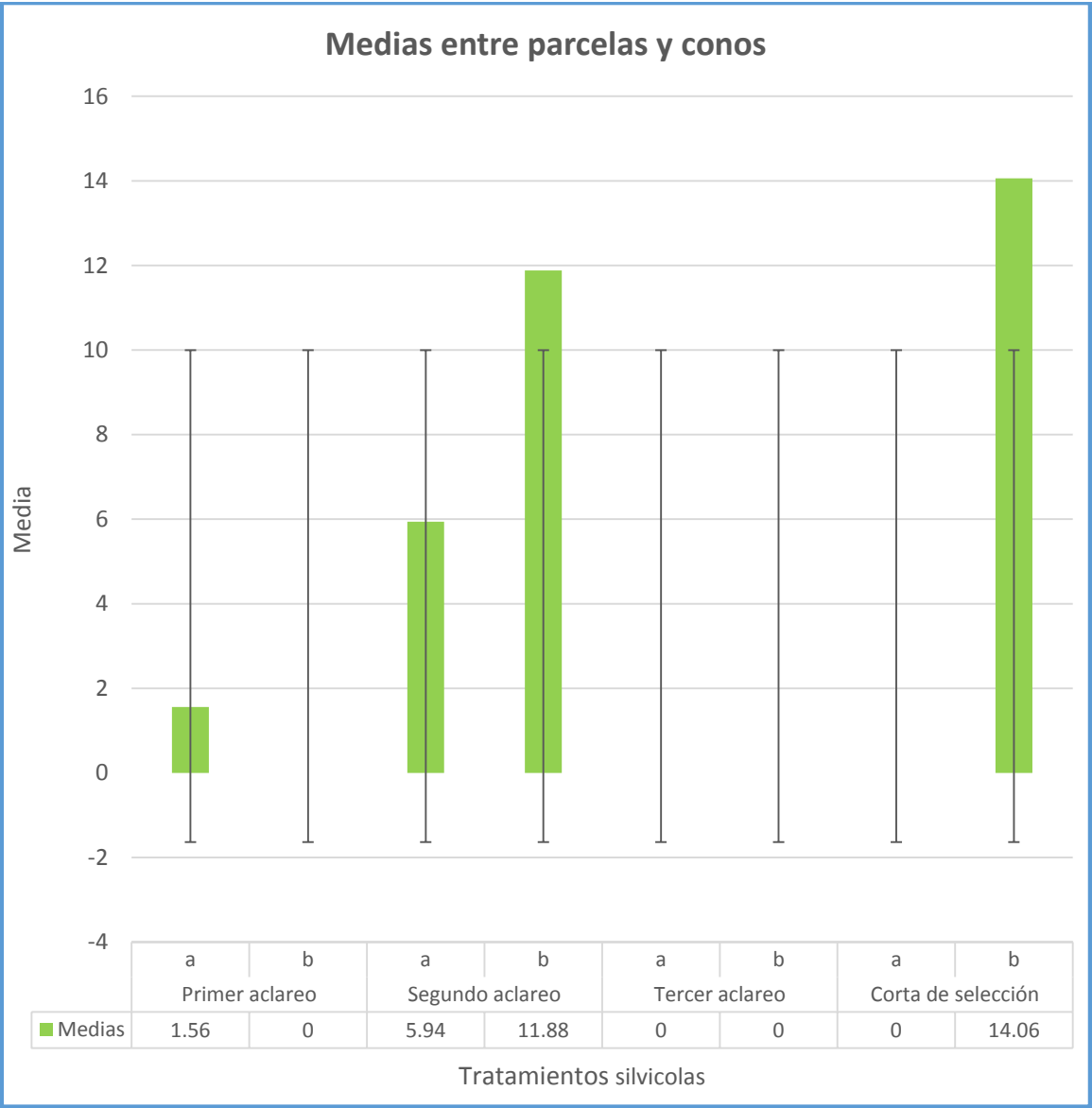
6.1.3 Diferencias significativas entre parcelas para conos en los tratamientos silvícolas.

Se determinó que en la variable conos no existen diferencias significativas ya que se encontró un nivel de significancia de .5276 en los tratamientos silvícolas aplicadas obteniendo una media máxima de 14.06 g. en la parcela “b” de la corta de selección.

Cuadro 15. Diferencias significativas entre parcelas para conos.

Variables	Parcelas	Medias	Nivel de Significancia (.05)
Primer aclareo	a	1.56	0.5276
	b	0	
Segundo aclareo	a	5.94	
	b	11.88	
Tercer aclareo	a	0	
	b	0	
Corta de selección	a	0	
	b	14.06	

En la gráfica 7 se observa las medias entre parcelas para conos se observa que los valores no son presentes en todas los tratamientos ni en las parcelas obteniendo valores aislados en el primer aclareo con 1.56 g en la parcela “a”, en el segundo aclareo en la primer parcela con una media de 5.94g, en la parcela “b” con 11.88g y en la corta se selección en la parcela “b” con una media de 14.06 g siendo esta ultima la parcela con una media mayor. Sugiriendo que no fue temporada favorable para la reproducción.



Gráfica 7. Medias entre parcelas y conos

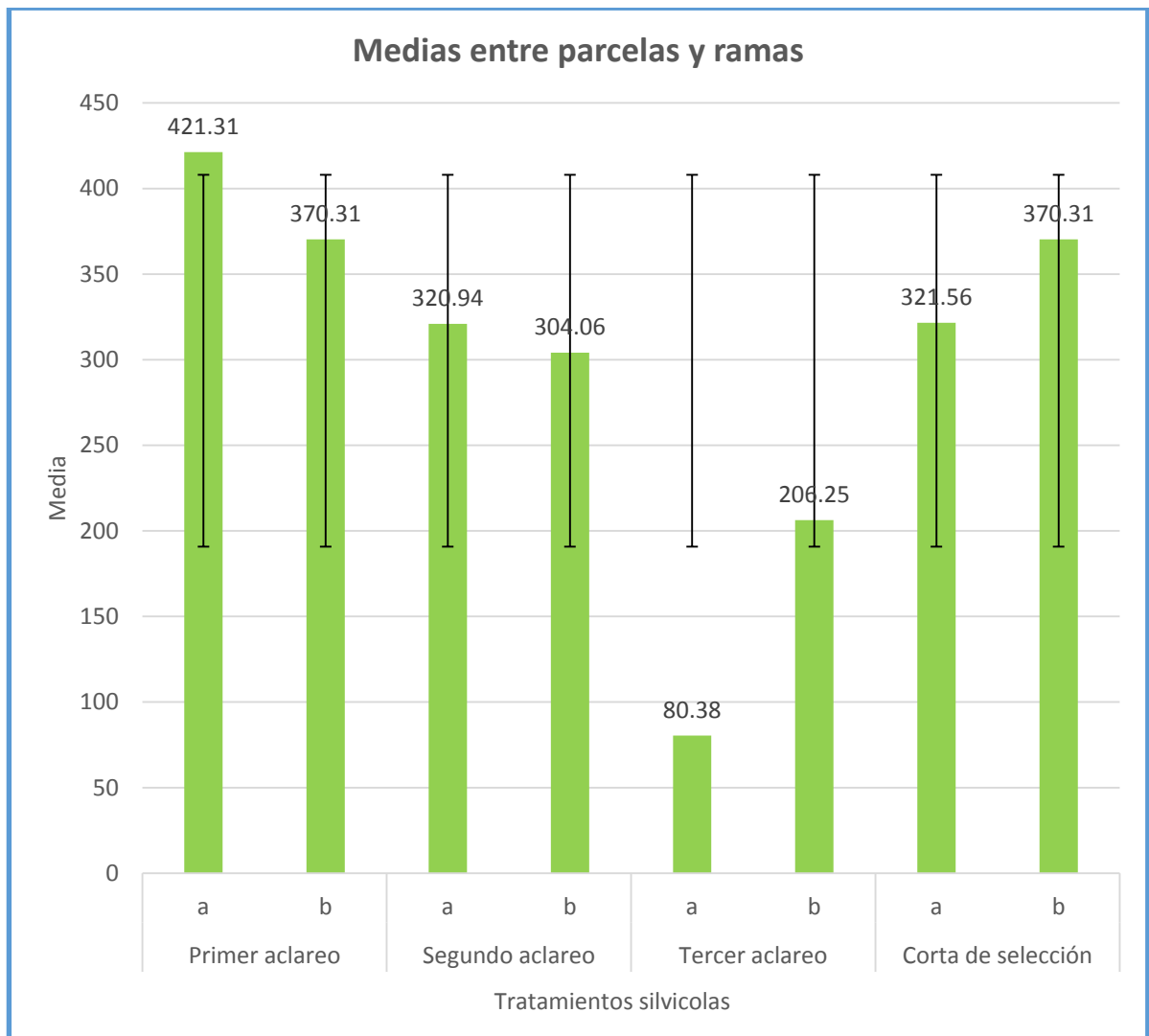
6.1.4 Diferencias significativas entre parcelas para ramas en los tratamientos silvícolas

Los resultados del análisis de varianza nos indican que en la variable ramas se encontró un valor de p menor a .05 por lo que se concluye que existen diferencias significativas mostrando un valor de 0.0004 en las parcelas dentro de los tratamientos, encontrando así una media máxima de 421.31 g en la parcela “a” del primer aclareo, y a su vez un valor mínimo de 80.38 en la parcela “a” de un tercer aclareo silvícola.

Cuadro 16. Diferencias significativas entre parcelas para ramas en los tratamientos silvícolas.

Variables	Parcelas	Medias	Nivel de significancia (.05)
Primer aclareo	a	421.31	0.0004
	b	370.31	
Segundo aclareo	a	320.94	
	b	304.06	
Tercer aclareo	a	80.38	
	b	206.25	
Corta de selección	a	321.56	
	b	370.31	

La grafica 8 muestra la media entre las parcelas para ramas mostrando valores altos en el primer aclareo con 424.31g en la parcela “a” y 370.31g en la parcela “b”, al igual se observa que en todos los tratamientos con excepción del tercer aclareo la media supera los 320 g sugiriendo que las ramas son el material con mayor importancia en los tratamientos para fines energéticos.



Gráfica 8. Medias entre parcelas y ramas

6.2 Análisis inmediatos

6.2.1 Contenido de humedad

El contenido de humedad se define como la cantidad de agua presente en la biomasa, expresada como un porcentaje del peso. Para combustibles de biomasa, este es el factor más crítico, ya que determina la energía que se puede obtener por medio de la combustión. Cuando se quema la biomasa, primero se necesita evaporar el agua, antes de que el calor esté disponible y, por eso, cuanto más alto sea el contenido de humedad, menos poder calorífico (*DIEMVIC 2016*).

Como se muestra en el cuadro 17 y 18 para el contenido de humedad se obtuvo un nivel de significancia mayor a 0.05 tanto para tratamiento como para componentes indicando que no existen diferencias significativas entre los tratamientos silvícolas obteniendo ($p > 0.05$) de .421 por tratamiento y .791 en la relación entre componente (hojas, conos y ramas).

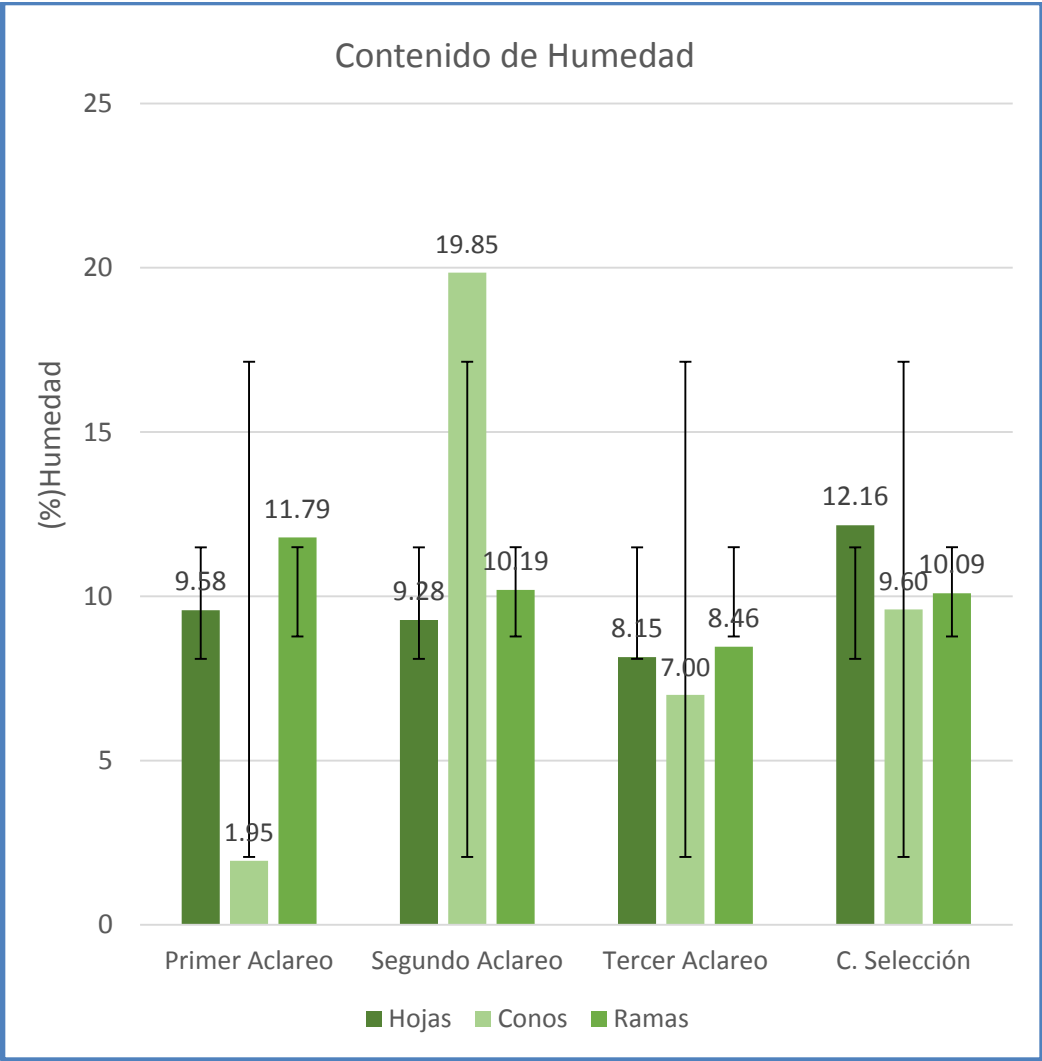
Cuadro 17 Anova para tratamiento silvícola en C.H

ANOVA						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
CH	Entre grupos	.000	3	.000	1.053	.421
	Dentro de grupos	.000	8	.000		
	Total	.001	11			

Cuadro 18 Anova para componente (hojas, conos y ramas) en C.H

ANOVA						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
CH	Entre grupos	.000	2	.000	.241	.791
	Dentro de grupos	.001	9	.000		
	Total	.001	11			

En la gráfica 9 se presentan los resultados del contenido de humedad los tratamientos silvícolas.



Gráfica 9. Contenido de humedad en los tratamientos silvícolas.

6.2.2 Contenido de compuestos volátiles

El contenido de los volátiles en la biomasa indica la capacidad que tiene el material de generar calor en determinado periodo de tiempo, a mayor cantidad de volátiles mayor será la intensidad de la combustión.

Indica la cantidad de compuestos gaseosos producidos en la descomposición de la sustancia carbonosa (*Castells, et al., 2005*)

En el cuadro 19 se muestra el análisis de varianza que se realizó para los tratamientos silvícolas mostrando que el nivel de significancia en todos los tratamientos silvícolas fue mayor a 0.05 lo que indica que no existen diferencias estadísticamente en ningún tratamiento mostrando un ($p > 0.05$) de .806 mientras que en la relación entre componentes (hojas, conos y ramas) el valor de significancia es de .844 (ver cuadro 20).

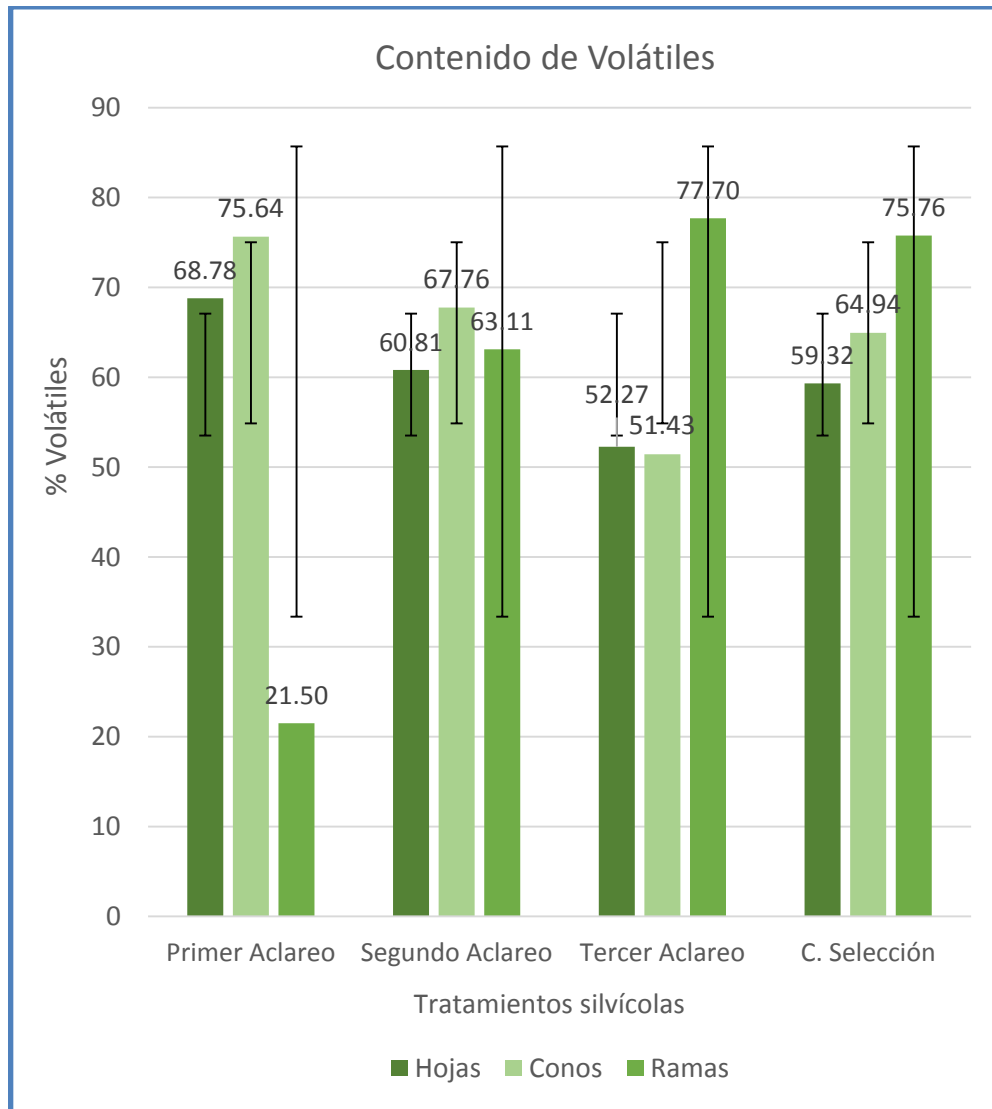
Cuadro 19 Anova para tratamiento silvícola en volátiles.

ANOVA						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Volátiles	Entre grupos	.000	3	.000	.328	.806
	Dentro de grupos	.001	8	.000		
	Total	.001	11			

Cuadro 20 Anova para componente (hojas, conos y ramas) en volátiles.

ANOVA						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Volátiles	Entre grupos	.000	2	.000	.173	.844
	Dentro de grupos	.001	9	.000		
	Total	.001	11			

En la gráfica siguiente se muestra los resultados obtenidos en el contenido de volátiles de las muestras de cada tratamiento silvícola obteniendo un promedio del 61.59 % en la mayoría de los tratamientos.



Gráfica 10. Contenido de volátiles en los tratamientos silvícolas.

6.2.3 Contenido de cenizas

Corresponden a la cantidad de materia sólida no combustible presente en la biomasa, a mayor contenido de cenizas menor será el valor del poder calorífico.

(Castells, et al., 2005, Cuiping et al., 2014)

Como se muestra en los cuadros 21 y 22 para el contenido de cenizas se obtuvo un nivel de significancia mayor a 0.05 por lo que indica que no existen diferencias significativas entre los tratamientos silvícolas obteniendo un ($p > 0.05$) de 0.671 por tratamiento y 0.669 en la relación entre componente (hojas, conos y ramas).

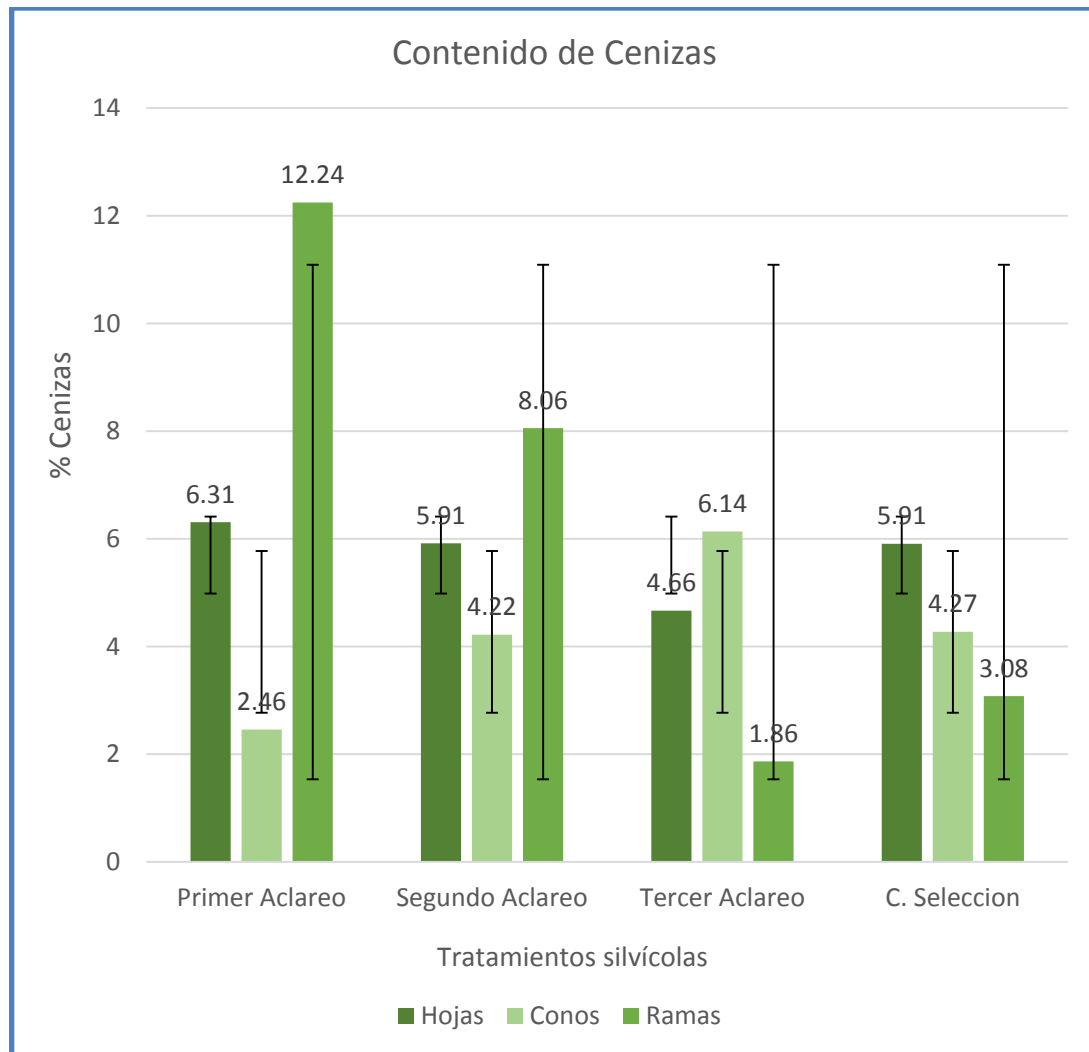
Cuadro 21 Anova para tratamiento silvícola en cenizas.

ANOVA						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Cenizas	Entre grupos	.000	3	.000	.535	.671
	Dentro de grupos	.000	8	.000		
	Total	.000	11			

Cuadro 22 Anova para componente (hojas, conos y ramas) en cenizas.

ANOVA						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Cenizas	Entre grupos	.000	2	.000	.420	.669
	Dentro de grupos	.000	9	.000		
	Total	.000	11			

Como se muestra en la gráfica 11 el contenido de cenizas fue mayor en ramas solo en el primer aclareo mostrando un valor de 12.24% como valor máximo mientras que en el resto de los tratamientos así como en sus componentes (hojas, conos y ramas) el valor promedio oscila entre 5% y 6%.



Gráfica 11. Contenido de cenizas en los tratamientos silvícolas.

6.2.4 Contenido de carbón fijo

Se define como carbón fijo a la fracción del carbón residual que permanece luego de retirar de la muestra la humedad, la ceniza y el material volátil.

En los cuadros 23 y 24 se muestra el nivel de significancia estadística que se obtuvo para cada tratamiento, así como para la relación entre componente (hojas, conos y ramas) mostrando ($p > 0.05$) para los tratamientos mayor a 0.05 llegando a un valor igual de 0.595 por lo que no existen diferencias entre los tratamientos y 0.905 en los componentes.

Cuadro 23 Anova para tratamiento silvícola en carbón fijo.

ANOVA

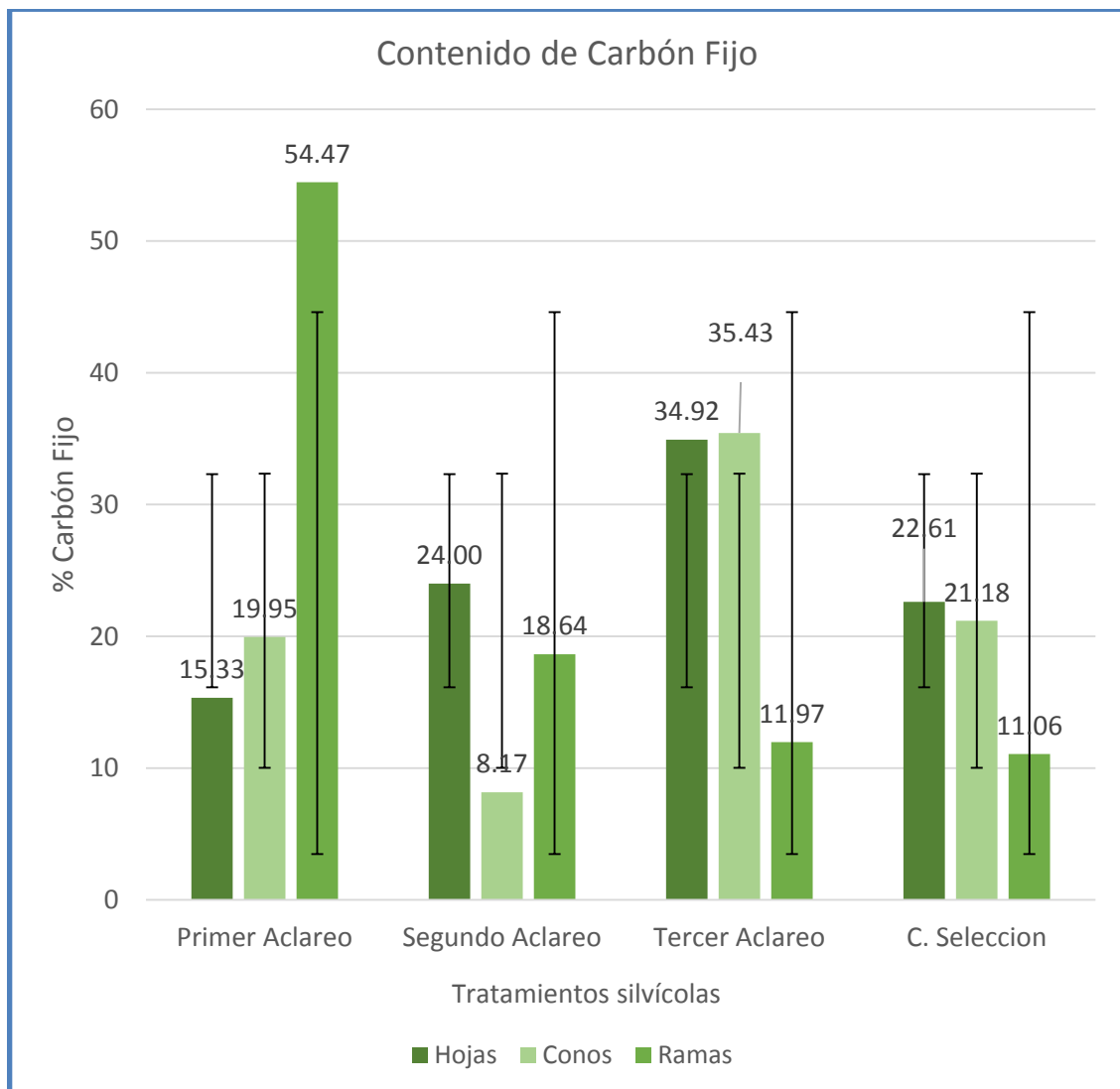
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
C Fijo	Entre grupos	.000	3	.000	.668	.595
	Dentro de grupos	.001	8	.000		
	Total	.002	11			

Cuadro 24 Anova para componente (hojas, conos y ramas) carbón fijo.

ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
C.Fijo	Entre grupos	.000	2	.000	.101	.905
	Dentro de grupos	.002	9	.000		
	Total	.002	11			

En la gráfica 12 se presentan los resultados del contenido carbón fijo los tratamientos silvícolas. En ella se muestra que en el primer aclareo fue donde se obtuvo mayor cantidad de carbón fijo dentro de la variable de ramas aportando un 54.47 % mientras que el valor mínimo se obtuvo en la variable de conos en el segundo aclareo con un 8.17 %.



Gráfica 12. Contenido de carbón fijo en los tratamientos silvícolas.

6.2.5 Poder calorífico

El poder calorífico de la biomasa expresa la cantidad de energía liberada en el proceso de la combustión, entre más alto sea el valor, mayor será la energía producida. El poder calorífico no presentó diferencias estadísticas entre los tratamientos, tampoco en sus componentes (hojas, conos y ramas) ($p>0.05$) obteniendo valores 0.269 para los tratamientos y 0.988 para los componentes.

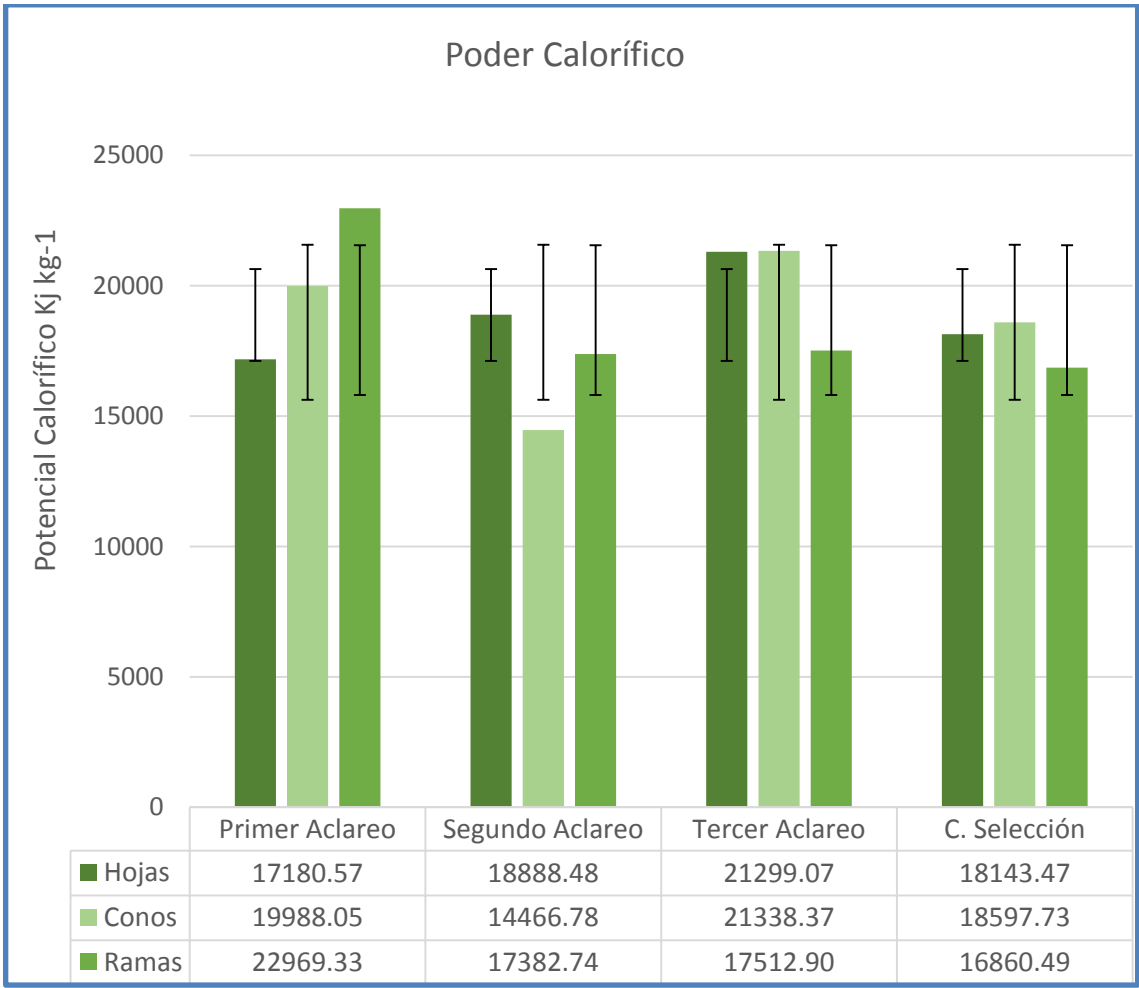
Cuadro 25 Anova para tratamiento silvícola en potencial calorífico.

ANOVA						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
P. calorífico	Entre grupos	22563324.728	3	7521108.243	1.577	.269
	Dentro de grupos	38147484.794	8	4768435.599		
	Total	60710809.523	11			

Cuadro 26 Anova para componente (hojas, conos y ramas) en potencial calorífico.

ANOVA						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
P. calorífico	Entre grupos	165481.717	2	82740.858	.012	.988
	Dentro de grupos	60545327.806	9	6727258.645		
	Total	60710809.523	11			

Como se observa en la gráfica siguiente el primer aclareo y el tercer aclareo fueron los tratamientos silvícolas en los que se encontró una mayor cantidad de poder calorífico superando los 16000 Kj kg-1 que establece la norma alemana para los requerimientos y la utilización de la biomasa como combustible norma DIN 51731, por lo que da a entender que las actividades silvícolas son más fuertes en ese lapso de tiempo y demuestra que el valor calorífico de la biomasa es el ideal para la utilización de la misma



Gráfica 13. Potencial calorífico en los tratamientos silvícolas.

7. DISCUSIÓN

7.1 Análisis inmediatos

7.1.2 Contenido de humedad

En el contenido de humedad no se obtuvieron diferencias estadísticas ya que presentó un nivel de significancia mayor a 0.05 obteniendo valores de 1.95 a 19.85 %. Resultados similares presenta *Vassilev et al., (2010)* reportando rangos de 10 a 40% de humedad para el uso de biocombustibles para la producción de energía.

7.1.3 Contenido de compuestos volátiles

Para el contenido de volátiles no se encontró diferencias estadísticas ya que presentó tanto en tratamiento como en componentes (hojas, conos y ramas) un nivel de significancia mayor a .05 además se encontraron valores homogéneos en todos los tratamientos silvícolas obteniendo como promedio 61.59 % de material volátil al igual que *Márquez et al., (2001)* donde se encontraron valores de 68.1 a 82.7 %.

7.1.4 Contenido de cenizas

Correspondiente al contenido de cenizas se obtuvo un resultado no significativo ya que se encontró un valor mayor a .05 en el primer aclareo mostrando un valor de 12.24% como valor máximo mientras que en el resto de los tratamientos así como en sus componentes (hojas, conos y ramas) el valor promedio oscila entre 5 y 6%. Obteniendo así valores semejantes a *Lima (2013)* en los que se expresan valores entre 5 y 10 % en el contenido de cenizas.

7.1.5 Contenido de carbón fijo

En el contenido de carbón fijo no se obtuvieron diferencias significativas ya que presento un nivel de significancia de 0.595 además se obtuvo que en el primer aclareo el mayor porcentaje de carbón fijo teniendo como valor máximo en ramas con 54.47% mientras que en conos del segundo aclareo el valor mínimo fue de 8.17% resultados similares obtuvo *Márquez et al., (2001)* obteniendo un rango de valores de 12.4 a 84.9 %.

7.1.6 Poder calorífico

En el poder calorífico no presentó ninguna diferencia estadística ya que todos los valores se encontraron por encima de 0.05, también se observó que en todos los aclareos silvícolas estudiados, el poder calorífico supero a los 16000 Kj Kg⁻¹ que establece la norma alemana para los requerimientos y la utilización de la biomasa como combustible norma DIN 51731; algunos autores (*Lima,2013; Márquez et al., 2001; Bravo, 2000*) encontraron resultados similares obteniendo valores por encima de 16000 Kj Kg⁻¹

8 CONCLUSIONES.

Se determinó que el volumen de los residuos forestales en los cuatro tratamientos silvícolas estudiados es diferente.

La mayor fuente generadora de residuos forestales en los tratamientos silvícolas es el primer aclareo aportando una cantidad de 206.24 Kg /Ha. Las hojas son el residuo forestal con mayor volumen en los tratamientos silvícolas investigados con 112.21 KG/HA y estas son seguidas por las ramas con 110.70 KG/HA. En relación a la biomasa disponible en todo el ejido se estimó un aproximado de 315.22 Ton/Ha en los 4 tratamientos silvícolas evaluados de los cuales 215.28 Ton/Ha pertenecen a los aclareos silvícolas demostrando que se han realizado actividades forestales tales como podas, chaponeos, entresagues parciales etc.

En general se encontró un nivel de humedad bajo en hojas, conos y ramas esto sugiere que años con poca precipitación la calidad de la biomasa será mayor para la producción de energía.

Los resultados muestran que a un mayor contenido de volátiles será menor el contenido de carbón fijo por lo que disminuirá el poder calorífico.

Generalmente se concluye que la biomasa estudiada es idónea para la producción de energía ya que presenta valores altos de Kj kg⁻¹ en todos los tratamientos forestales estudiados (primer aclareo, segundo aclareo, tercer aclareo, corta de selección) que son característica de un buen potencial energético.

Se observó que en el tercer aclareo la biomasa disponible para fines energéticos fue muy baja aportando 50.08 kg/ha en total de los cuales 27.15 Kg/ha pertenecen a hojas, 22.93 Kg/ha a ramas y ninguna cantidad de conos determinando que es el tratamiento menos favorable para la obtención de biomasa.

9 BIBLIOGRAFÍA

- Alakangas E. 2002. Wood pellets in Finland, technology economy and market, OPET Report 5, Technical Research Center of Finland. 64p.
- Borja V. M. 2006. Aprovechamiento de los residuos forestales para uso energético. Universidad Politécnica de Valencia. España. 158p.
- Bravo, J. D., Ciria, P., Esteban, L. S., Sánchez, D., & Lasry, P. (2000). Evaluación de la biomasa potencial como recurso energético en la región de Navarra (España). Asociación de Geógrafos Españoles.4p.
- Brown, J. K. 1971. A planar intersect method for sampling fuel volume and surface area. For. Sci. 17:96-102.
- Camps Michelena, M., & Marcos Martín, F. (2008). Los biocombustibles. Mundi-Prensa. Edición 2ª. 39p.
- Castells X.E., Cadavis C., Campos P.E., Flotats R.X., Garcia M.J., Gaya F.J., Jurado G.L., ruiz A.F., Cremades O.L., Velo G.E. (2005) tratamiento y valoración energética de residuos. Ediciones Díaz de santos, España, pp.64
- Castillo MLE. 2003. Introducción a la Estadística Experimental. 2da edición. Universidad Autónoma de Chapingo. Departamento de parasitología. Chapingo, Estado de México. pp.263.
- Cordero T, Márquez F, Rodríguez-Mirasol J. and Rodríguez JJ. 2001. Predicting heating Values of lignocellulosics and carbonaceous materials from proximate analysis. Fuel. 80: 1567-1571.
- Cuiping L., Chuangzhi W.,Yanyongjie H.(2014). Chemical elemental characteristic of biomass fuel in china. Biomass and energy 27. Pp. 119-130.

- DIEMVIC. (2016). Electronic Energy Engineering, Octubre 2016 en file:///C:/Users/Supervisor/Downloads/krrMI1uxULvYQ6WQ6DrPPnEQWBDEa0AAprMxh7k2HUPYPJpJpVZ50dJ.pdf
- FAOSTAT. 2006. Forestry data. November, 2006. In: <http://faostat.fao.org>.
- Fengel, D. and Wegener, G. 1989. Wood Chemistry, Ultrastructure, Reactions. Walter de Gruyter. Berlín, Germany. 415 p.
- Ghosh T. K. and M. Prelas A. 2011. Energy resources and systems: Volume 2. Springer Science + Business Media B.V.715p.
- Gonzales F., A. Y Villela S., M. 2013. Evaluación del potencial de producción de energía eléctrica a partir de residuos forestales en la región de El Salto, Durango. Tesis profesional del Instituto Tecnológico De El Salto, El Salto P.N. Durango.52p.
- IAASTD. 2009. Evaluación Internacional del Papel del Conocimiento, la Ciencia y la Tecnología en el Desarrollo Agrícola. 15-16 pp.
- INEGI. 2004. Cartas topográficas, hidrológicas y edafológicas Escalas 1:50,000 y 1:250,000. México, D.F.
- Jahrbuch D. 2007. Harenberg Aktuell. Meyers Lexikonverlag, Mannheim, Leipzig, Wien, Zürich. 125.
- Jiménez G. 1991. Los residuos de origen vital. Real Academia de Farmacia. Madrid.
- Lima Rojas, L. (2013). Evaluación de la composición química y propiedades físicas de madera y corteza de cuatro coníferas para la producción de bioenergía (Disertación Doctoral Universidad Autónoma de Nuevo León). 252-254.

- Marcos, F. 2001. Biocombustibles sólidos de origen forestal. AENOR. Madrid. pp 14-21
- Márquez, F., Alcántara, C., Rodríguez, J., Rodríguez, J., Martínez, T., de la Rosa, B., & Ávalos, A. (2001). ESTUDIO DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE BIOMASA *Pinus caribaea* Morelet var. *Caribaea* Y *Pinus tropicalis* Morelet; *Eucalyptus saligna* Smith, *Eucalyptus citriodora* Hook y *Eucalyptus pellita* F. Muell ; DE LA PROVINCIA DE PINAR DEL RÍO. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 7(1), 83-89.
- Martín M., F. 2001. Biocombustibles sólidos de origen forestal. AENOR. Madrid, España. 2-6 pp.
- Martínez L., S. 2009. Evaluación de la biomasa como recurso energético renovable en Cataluña. Tesis doctoral. Universitat Girona. 234 p.
- Masera, O. 1995. Estimación de parámetros biológicos e indicadores económicos para proyectos forestales de captura de carbono. Documento de trabajo No. 16. Grupo Interdisciplinario de tecnología Rural Apropiable (GIRA). Michoacán, México. pp 6-8.
- Salvador, A. R. 2010. Aprovechamiento de la biomasa como fuente de energía alternativa a los combustibles fósiles, Real Academia de Ciencias Exactas Físicas y naturales Vol. 104, Nº. 2, pp 331-345.
- Sánchez C., J. y G. Zerecero L. 1983. Método práctico para calcular la cantidad de combustibles leñosos y hojarasca. Nota divulgativa No 9 PR – 03. CIFONOR – INIF, SFF. SARH. México.
- Vassilev, S. V., Baxter, D., Andersen, L. K., & Vassileva, C. G. (2010). An overview of the chemical composition of biomass. Fuel, 89(5), 913-933. doi: 10.1016/j.fuel.2009.10.022